

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Pneumatický lis pro vysekávání tvarových konců pryžových
profilů**

**Pneumatic Press for Cutting the Ends Shaped Rubber
Profiles**

Student:

Pavel Valouch

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Valouch**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**
Specializace: **21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení**
Téma: **Pneumatický lis pro vysekávání tvarových konců pryžových profilů**
Pneumatic Press for Cutting the Ends Shaped Rubber Profiles

Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekčně-konstrukční návrh integrovaného pracoviště pneumatického lisu sloužícího pro vyhotovení tvarového výseku na obou koncích výstuhového TPV profilu. Konstrukci lisu navrhnete především s ohledem na snadnou výměnu jednotlivých komponent a jejich seřízení včetně možnosti výměny vysekávacího modulu. Lis bude vybaven gravitačním vypadáváním odpadu do sběrné nádoby.

Výchozí parametry:

Vstupní produkt: výstuhový profil TPV

Délka vstupního produktu: 430 mm

Tlak v rozvodu vzduchu: 0,6 MPa

Tvar výseků je dán výkresy: VAL0096-BP-2013-P1, VAL0096-BP-2013-P2

Proveďte:

- stručné zhodnocení stávajícího stavu techniky v dané oblasti,
- zpracování možných variant a výběr nejlepšího řešení dle zvolených kritérií,
- technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení v návaznosti na výkresovou dokumentaci a výpočtovou část technické zprávy,
- projekční návrh kompletního řešení integrovaného pracoviště pneumatického lisu,
- detailní konstrukční propracování řešení pneumatického lisu a všech mechanických komponent pracoviště včetně během zpracování určených konstrukčních uzlů,
- výkresovou dokumentaci v celkovém rozsahu min. 1 x A0.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*,
- [2] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut, 1996, 32 s.
- [3] HORYL, P.: *Statika a dynamika - 2. vyd.* Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996 - 218 s. ISBN 80-7078-971-9
- [4] NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů.* 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [6] KRÍŽ, R. *Strojnické tabulky II. Pohony.* Ostrava : Montanex, 1997, 213 s. ISBN 80-85780-51-8
- [7] Firemní literatura a podklady, odborné časopisy apod.
- [8] Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2013


.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2013



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Pavel Valouch

Adresa trvalého pobytu autora práce: Litovel – Nasobůrky 130, Chudobín, 783 21

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VALOUCH, P. *Pneumatický lis pro vysekávání tvarových konců pryžových profilů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 60 s. Vedoucí práce: Kovář, L.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem pracoviště pneumatického lisu sloužícího pro vytvoření tvarového výseku TPV profilu s hliníkovou výztuhou. Zařízení umožňuje provádět současně seký konců levého a pravého profilu. Návrh zahrnuje řešení s výměnnými moduly pro dva profily s různými tvary konců. Navržený systém stroje umožňuje doplnění případných dalších modulů pro další sortiment ovšem pouze v délkových rozměrech profilů 400 - 730 mm. Zařízení je automatické pouze s manuálním zakládáním vstupního materiálu. Odpad je řešen jako gravitační do vložené bedny.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

VALOUCH, P. *Pneumatic Press for Cutting the Ends Shaped Rubber Profiles: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department ..., 2013 60 p. Thesis head: Kovář, L.

Bachelor thesis deals with the structural design of the pneumatic press used for the workplace to create a cut-out shape TPV profile with aluminum reinforcement. The device makes it possible to carry out at the same time with the left and right ends of the profile. The proposal involves a solution with interchangeable modules for two profiles with various shapes. The proposed system of the machine allows adding any additional modules for more range but only in linear dimensions profile 400-730 mm. The device is automatic only with manual setting up input material. Waste is designed as a gravity in the embedded box.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
1 Úvod	13
2 Rozdělení vyhledávaných informací - řešerše	14
2.1 Informace o zpracovávaném materiálu	14
2.2 Informace o stroji	16
3 Tvary seků a jejich provedení	18
3.1 Profil 1	18
3.1.1 Tvary seků a jejich provedení – profil 1	18
3.2 Profil 2	20
3.2.1 Tvary seků a jejich provedení – profil	20
4 Návrh konstrukce zařízení - legislativa	22
5 Konstrukční uzly zařízení	23
5.1 Rám stroje a jeho krytování	23
5.1.1 Princip bezpečnostní světelné závory	26
5.2 Suport modulů	26
5.2.1 Lineární kolejnicová vedení	28
5.2.2 Kuličkový šroub	28
5.2.3 Motory SmartStep	29
5.2.4 Indukční snímače Balluff	30
5.2.5 Volba varianty pohonu koncového seku	31
6 Finální řešení pneumatického lisu	33
6.1 Základový rám	33
6.2 Suport zařízení	35
6.3 Sekací modul	37
6.3.1 Matrice, nože a vkládání profilů	38
6.3.2 Rám sekacích modulů	38
6.3.3 Sek těsnícího jazyku	39

6.4	Dodatkový modul - sek háku profilu a sek měkkého pohledového jazyku ...	39
7	Konstrukční výpočty	41
7.1	Výpočet síly na přestřižení profilu.....	41
7.1.1	Experimentální výpočet pevnosti ve stříhu PP a EPDM	41
7.1.2	Výpočet síly pohonu pro provedení koncového seku.....	42
7.2	Výpočet velikosti servopohonu a kuličkového šroubu	45
7.3	Výpočet velikosti lineárního vedení kolejnice – vozík.....	47
7.3.1	Výpočet vozíků – symetrické zatížení.....	47
7.3.2	Výpočet vozíků – bez jednoho nože.....	49
7.4	Návrh šroubu pro upevnění nože koncového seku	50
7.5	Výpočet řemenového pohonu	52
8	Závěr	54
9	Seznam použitých zdrojů	56
	Internetové stránky:.....	57
10	Seznam obrázků	57
11	Seznam tabulek	58
12	Seznam výkresové dokumentace	59
13	Seznam příloh.....	59

Seznam použitých značek a symbolů

ABS	akrylonitril–butadien–styren	
Al	hliník	
BR	butadien	
CD	datový nosič, součást bakalářské práce	
C_{dyn}	dynamická únosnost	[N]
ČSN	Česká státní norma	
E	modul pružnosti oceli	[MPa]
EN	Evropská norma	
EPDM	terpolymer etylen–propylén–dién	
EPM	etylen-propylen	
F	síla	[N]
F_d	dynamická síla	[N]
Fe	železo	
F_{EPDM}	síla potřebná k přeseknutí EPDM	[N]
F_k	maximální teoretická dovolená axiální síla	[N]
F_{PP}	síla potřebná k přeseknutí polypropylene	[N]
F_{P1}	osová síla ve šroubu	[N]
F_S	síla potřebná k oddělení materiálu	[N]
F_t	třecí síla	[N]
F_U	utahovací síla	[N]
F_{Vbs}	výsledná síla pro sek háku	[N]
F_{Vh}	výsledná síla pro sek háku	[N]

F_{Vks}	výsledná síla pro koncový sek	[N]
F_{Vmj}	výsledná síla pro sek měkkého jazyku	[N]
F_{Vo}	výsledná síla pro ořez profilu	[N]
F_{zat}	zatěžující síla	[N]
G	gravitační síla	[N]
IIR	butyl	
IR	isopren	
ISO	mezinárodní norma – mezinárodní organizace pro normalizaci	
K_{Vbs}	výsledná bezpečnost pohonu	[-]
K_{Vh}	výsledná bezpečnost pohonu	[-]
K_{Vks}	výsledná bezpečnost pohonu	[-]
K_{Vmj}	výsledná bezpečnost pohonu	[-]
K_{Vo}	výsledná bezpečnost pohonu	[-]
L	životnost šroubu v otáčkách	[ot]
$L_{\bar{r}}$	nominální osová vzdálenost řemenic	[mm]
L_h	životnost šroubu v provozních hodinách	[hod]
M	hnací krouticí moment	[N.m]
M_L	klopný moment	[N.m]
M_{L0}	klopný moment	[N.m]
M_U	utahovací moment	[N.m]
NBR	butadien-akrylonitrin	
NR	přírodní kaučuk	
P	rozteč závitu	[mm]
P_s	výkon	[W]

PA	polyamid	
PE	polyethylen	
PP	polypropylen	
PS	polystyren	
PTP	z bodu do bodu	
R_{1x}	reakce na noži 1 ve směru osy x	[N]
R_{1y}	reakce na noži 1 ve směru osy y	[N]
R_{2x}	reakce na noži 2 ve směru osy x	[N]
R_{2y}	reakce na noži 2 ve směru osy y	[N]
S	plocha stříhu	[mm ²]
S_{Al}	plocha seku hliníku	[mm ²]
S_{EPDM}	plocha seku EPDM	[mm ²]
S_{PP}	plocha seku polypropylene	[mm ²]
S_V	průřez šroubu	[mm ²]
SAN	kopolymer styrenu s akrylonitrilem	
SBR	butadien-styren	
SW	software	
TPV	termoplastický vulkanizát	
a_s	zrychlení suportu	[m.s ⁻²]
a	vzdálenost osy vozíku od těžiště	[mm]
b	vzdálenost osy nože od těžiště	[mm]
c	vzdálenost nože od vozíku	[mm]
č.	číslo	
č. v.	číslo výkresu	

d	vzdálenost působící síly - vozík	[mm]
d_k	střední průměr kuličkového šroubu	[mm]
d_v	minimální střední průměr šroubu	[mm]
d_s	střední průměr šroubu	[mm]
d_2	průměr šroubu	[mm]
e	vzdálenost těžiště - vozík	[mm]
f	vzdálenost nože od vozíku	[mm]
f_t	koeficient tření	[-]
f_{tz}	koeficient tření v závitu	[-]
f_u	koeficient uložení šroubu	[-]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
i	převodový poměr	[-]
k	koeficient bezpečnosti	[-]
k_1	součinitel otupení břitu	[-]
k_2	součinitel bezpečného seknutí	[-]
k_s	součinitel bezpečnosti šroubu	[-]
m	hmotnost	[kg]
m_c	celková hmotnost	[kg]
m_m	hmotnost modulu	[kg]
m_s	hmotnost suportu	[kg]
n	počet profilů	[-]
n_k	kritické otáčky šroubu	[min ⁻¹]
n_m	nominální otáčky šroubu	[min ⁻¹]
n_{max}	maximální otáčky šroubu	[min ⁻¹]

$n_{\text{š}}$	počet šroubů	[-]
$p_{\text{š}}$	stoupání šroubu	[mm]
s	spínací vzdálenost	[mm]
s.r.o.	společnost s ručením omezeným	
s_a	zaručená spínací vzdálenost	[mm]
s_n	jmenovitá spínací vzdálenost	[mm]
v	rychlost suportu	[m.s ⁻¹]
x	zdvih suportu	[mm]
α	úhel stoupání závitu šroubu	[°]
φ	třecí úhel	[°]
η	účinnost kuličkového šroubu	[-]
σ_{DOV}	dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_{Pt}	mez pevnosti v tahu	[MPa]
τ_{Al}	dovolené napětí ve smyku hliníku	[MPa]
τ_{DS}	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
τ_{EPDM}	dovolené napětí ve smyku EPDM	[MPa]
τ_{PP}	dovolené napětí ve smyku polypropylenu	[MPa]
τ_{S}	pevnost ve střihu	[MPa]

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí pneumatického lisu pro zhotovení tvarových seků na TPV profilu s hliníkovou výztuhou. Pneumatický lis musí mít možnost sekát tvarové konce dvou různých profilů. Nejvhodnější řešení pro tuto aplikaci je pneumatický lis s výměnnými moduly pro dané tvarové seky.

V úvodu práce je řešerši na dané téma a získané informace o dané problematice. Tyto informace by mi měli pomoci při konečném zpracování konstrukčního návrhu.

V další kapitole provedu rozbor možných řešení a následně je vyhodnotím a zvolím nejlepší variantu na základě stanovených kritérií. Při hledání nejvhodnější varianty zohledňuji technickou i finanční stránku věci a v neposlední řadě snadnou ovladatelnost zařízení. Po zvážení všech kladů a záporů navržených variant zvolím tu nejlepší z původně navrhovaných.

Následně provedu podrobnou konstrukci celého zařízení včetně čtyř sekacích modulů. V průběhu návrhu je potřeba provést konstrukční a pevnostní výpočty, které jsou také součástí této práce. Po dokončení návrhu modelu zpracuji výkresovou dokumentaci.

Návrh modelu zařízení a zpracování výkresové dokumentace jsem provedl v programu SolidEdge ST 5.

2 Rozdělení vyhledávaných informací - řešerše

Pro návrh a konstrukci jakéhokoli stroje, je potřeba mít informace o stroji jako takovém a materiálu, který má být v tomto stroji zpracováván. V neposlední řadě je důležité mít také soupis výpočtových vztahů, pomocí kterých lze návrh podložit konkrétními výpočty. Jako zdroj informací jsem použil internet a webové stránky různých výrobců a dodavatelů.

Rozhodl jsem se pro toto základní rozdělení získávání informací:

- Informace o zpracovávaném materiálu
- Informace o stroji

2.1 Informace o zpracovávaném materiálu

Termoplastické vulkanizáty (TPV) jsou díky svým vlastnostem nejdynamičtější se rozvíjející skupinou termoplastických elastomerů. Jsou směsí polypropylenu a ethylen-propylen-dienového kaučuku (EPDM). Kaučuk je dispergován v termoplastu ve formě částic o velikosti 1 až 5 μm . Kaučuk je v TPV zcela vulkanizován, což má řadu výhod, jako je větší odolnost proti rozpouštědlům, lepší mechanické vlastnosti a možnost použití přísad běžně zpracovávaných v průmyslu. [1]

Nejběžnější komponenty jsou polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyamidy (PA), polystyren (PS), kopolymery styrenu s akrylonitrilem (SAN), nebo jeho terpolymery s akrylonitrilem a butadienem (ABS), polyakryláty, polyestery, elastickými složkami jsou často kaučuky přírodní (NR), isoprenov“ (IR), butadienov“ (BR), butadien-styrenov“ (SBR) a butadien-akrylonitrilov“ (NBR), butylov“ (IIR), ethylen-propylenov“ (EPM) a ethylen-propylen-dienov“ (EPDM). [1]

Stupeň vulkanizace kaučuku výrazně ovlivňuje vlastnosti a morfologii TPV. Pevnost TPV nebude vyšší než pevnost termoplastu a elasticita bude nižší než u pryže. [1]

Vlastnosti	Rozpětí hodnot
Hustota, g cm ⁻³	0,94 až 0,97
Modul pružnosti v tahu, MPa	40 až 900
Pevnost v tahu, MPa	2 až 30
Tažnost, %	200 až 600
Trvalá deformace, %	6 až 60
Rázová houževnatost Charpy, kJ m ⁻²	>20
Tvrdost, Shore	28 A až 65 D
Tvarová stálost Vicat 5 kg, °C	40 až 80
Teplota použití, °C	-60 až 130
Měrný povrchový odpor, Ω m	10 ¹² až 10 ¹⁵
Nasákavost (za 24 h při 23°C a relativní vlhkosti 50 %), %	0,1

Tabulka 1. mechanické vlastnosti TPV [1]

Zpracování TPV má výhody a nedostatky zpracování termoplastů. K výhodám patří, že se snadno zpracovávají jako termoplasty, což je levnější a rychlejší než vulkanizace. Navíc je možné použít zařízení, které se používají při zpracování termoplastů. TPV může být také snadno barven přírodními speciálními barvami pro termoplasty. Je zde také možnost recyklovat technologický odpad a nekvalitní výrobky. Vážným nedostatkem většiny TPV je nutnost opatrného sušení surovin před zpracováním jako u termoplastů. Nejdůležitější je, že se TPV dodává ve formě granulátu, který po sušení může být snadno použit, zatímco při výrobě vulkanizátů musejí být složky kaučukové směsi napřed smíchány a směs potom vulkanizována, což spotřebuje hodně energie a času. [1]

Často se přidávají plniva za účelem zlepšení vlastností nebo snížení ceny. Přidáním plniva dochází např. ke zvětšení hodnot pevnosti a modulu pružnosti v tahu a snížení hodnoty tažnosti, nárůstu tvrdosti, atd. [1]

Zajímavou vlastností TPV je, že viskozita taveniny výrazně závisí na smykovém napětí. Růst smykového napětí vyvolává značné snížení viskozity, zatímco stoupaní teploty způsobí jen její mírné klesání. Tento jev se projevuje výrazněji u TPV než u běžných termoplastů, zřejmě kvůli aglomerátům částic vulkanizovaného kaučuku, které jsou spojeny společnou termoplastickou maticí. Proto při malých namáháních projevují TPV výrazně vyšší viskozitu. Při větších se aglomeráty rozrušují a viskozita poměrně prudce klesá, což dovoluje zpracování při nižších teplotách a široce se proto tohoto jevu využívá. Ve směsi obsahující do 40 % kaučuku je vliv termoplastické matrice na vlastnosti dominantní. S narůstáním obsahu kaučuku stoupá viskozita směsi a její závislost na smykovém napětí. Nejběžnějšími způsoby zpracování TPV jsou vytlačování, lisování,

válcování, vstřikování a vyfukování. Zpracování TPV musí probíhat za stejné nebo poněkud vyšší teploty, než za které probíhala jejich výroba. [1]

2.2 Informace o stroji

Zadaný stroj slouží pro vysekávání tvarových konců pryžových TPV profilů. Získávání informací o typu těchto strojů je náročné, protože se jedná o velmi specifické stroje. Při vyhledávání informací jsem použil webové stránky www.upv.cz, www.seznam.cz, www.google.cz, www.google.com/patents.

Na webových stránkách Úřadu pro průmyslové vlastnictví (www.upv.cz) po zadání dotazu: sekací lis, sekání pryžových profilů, sekací moduly, sekací pneumatické lisy, pneumatický lis pro vysekávání tvarových konců pryžových profilů, jednoúčelový stroj pro sekání tvarových konců profilů byl výsledek vyhledávání vždy stejný a to, že zadaným podmínkám nevyhovuje žádný záznam. Po zadání dotazu „pneumatický lis“ bylo nabídnuto šest záznamů. U některých bylo zřejmé už podle názvu, že nejsou pro moji práci vyhovující. Záznam „pneumatický lis“ jsem prostudoval a dospěl k závěru, že i tento záznam mi nepřinese žádné informace, které potřebuji.

Při hledání na www.seznam.cz, www.google.cz a www.google.com/patents bylo hledání opět neúspěšné. Na dotaz „pneumatický lis“ bylo vždy nabídnuto mnoho stránek s výrobci, kteří se zabývají touto problematikou. Bohužel se jedná převážně o výrobce klasických lisů, nikoli sekacích. Stejně tak i při zadání dotazu „sekací moduly, sekací pneumatické lisy, pneumatický lis pro vysekávání tvarových konců pryžových profilů, jednoúčelový stroj pro sekání tvarových konců profilů“ byly nabídnuty vždy stroje pro klasické vysekávací lisy.

Při zadání dotazu „sekání pryžových profilů“ na portálu www.google.com/patents byl nabídnut pouze jeden zdroj informací a to: „Sekání profilů a hadic > GUMEX, s.r.o. | Distributor hadic a pryží„. Na těchto stránkách je nabídnuto sekání pryžových profilu a hadic, ale pouze rovných konců bez tvaru. Pro informaci přikládám obrázek z této stránky.



Obrázek 1. Lis pro sekání hadic [2]

Nicméně i tato informace je vzhledem ke stroji, který mám zadaný nedostatečná a nevyhovující.

Při zjišťování informací o takto specifickém stroji jsem nenašel nic, co bych použil dále při návrhu stroje. Jedná se o stroje, které se nevyrábí v sériových výrobcích, jsou to jednoúčelové stroje stavěné přímo na míru daného profilu a daného tvaru seku na konci profilu. O těchto strojích lze s nadsázkou říci, že co kus to originál.

Proto pro návrh pneumatického lisu pro vysekávání tvarových konců pryžových profilů budu muset vycházet pouze ze zkušeností a praxe, kterou mám. Pracuji ve firmě, která se touto problematikou zabývá již více než 10 let. Já sám ve firmě pracuji 8 let a za tuto dobu jsem nasbíral zkušenosti, které využiji pro návrh a konstrukci stroje tak, aby odpovídal zadání.



Obrázek 2. fotografie sekacích modulů [3]

3 Tvary seků a jejich provedení

Profily budou vyráběny vždy v páru – levý a pravý. Následující popis seků a všech souvislostí bude vždy jen pro levý profil. Pro pravý profil platí vše jako pro levý jen výrobně je vše zrcadlové.

3.1 Profil 1



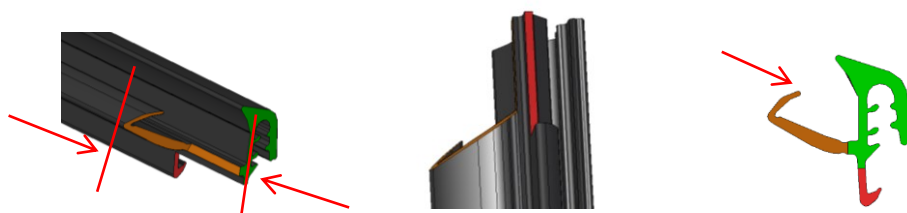
3.1.1 Tvary seků a jejich provedení – profil 1



Obrázek 4. Profil 1, strana A – koncový sek



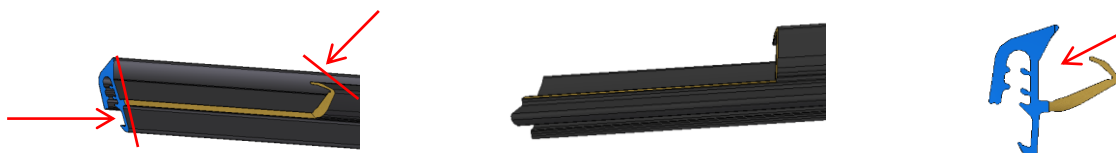
Obrázek 5. Profil 1, strana A – sek háku profilu



Obrázek 6. Profil 1, strana A – sek těsnícího jazyku



Obrázek 7. Profil 1, strana B – koncový sek



Obrázek 8. Profil 1, strana B – sek těsnícího jazyku

Sek konce profilu je v případě strany A kolmý k ose profilu, tudíž i nůž hlavního koncového seku bude svisle dolů (obrázek 4). Na straně B je úhlový sek (obrázek 7), proto i nůž musí sekat pod stejným úhlem profil. Nože budou nabroušeny pod úhlem cca 30°. I když je koncový sek na straně A kolmý na profil, musí se sekat, aby byla zaručena požadovaná kvalita konce profilu.

Sek háku profilu je tvarový sek (obrázek 5). Nůž bude ve tvaru „L“ se šikmo nabroušeným ostřím na delší straně. Přisun nože je z boku směrem k profilu. Vzhledem z nedostatku místa na výměnném sekacím modulu je potřeba provést tento výsek v dodatkovém modulu, který bude přistaven u zařízení.

Sek těsnícího jazyku (obrázek 6 a 8) musí být proveden dvojicí nožů. První nůž (žiletka) jazyk nařízne v ose profilu podél jeho kořene až do rohu. Druhý nůž odsekne zbytek jazyka. Odseknutí zbytku jazyka bude provedeno z boku jazyka.

3.2 Profil 2



Obrázek 9. Profil 2

3.2.1 Tvary seků a jejich provedení – profil



Obrázek 10. Profil 2, strana B – koncový sek



Obrázek 11. Profil 2, strana B – sek těsnícího jazyku



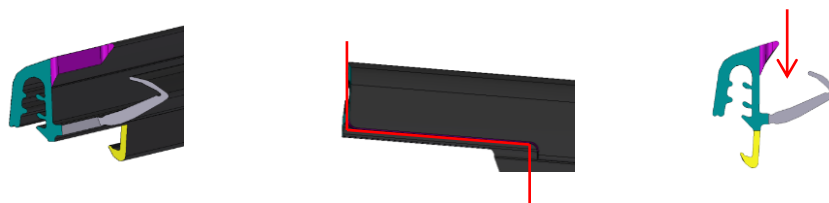
Obrázek 12. Profil 2, strana C – koncový sek



Obrázek 13. Profil 2, strana C – sek háku profilu



Obrázek 14. Profil 2, strana C – sek těsnícího jazyku



Obrázek 15. Profil 2, strana C – sek měkkého pohledového jazyku

Koncový sek (obrázek 10 a 12) je rovný ale pod úhlem k ose profilu, tudíž i nůž hlavního koncového seku bude svisle dolů, ale musí dodržet úhel koncového seku. Nůž bude nabroušen pod úhlem cca 30°.

Sek těsnícího jazyku (obrázek 11 a 14) musí být proveden dvojicí nožů. První nůž (žiletka) jazyk nařízne v ose profilu podél jeho kořene až do rohu. Druhý nůž odsekne zbytek jazyka. Odseknutí zbytku jazyka bude provedeno z boku jazyka.

Sek háku (obrázek 13) profilu je tvarový sek. Nůž bude ve tvaru „L“ se šikmo nabroušeným ostřím na delší straně. Přisun nože je z boku směrem k profilu. Vzhledem z nedostatku místa na výměnném sekacím modulu je potřeba provést tento výsek v dodatkovém modulu, který bude přistaven u zařízení.

Sek měkkého pohledového jazyku (obrázek 15) musí být proveden tvarovým nožem. Použitý nůž bude tvaru „Z“. Přisun nože je shora profilu směrem dolů. Sek bude z nedostatku místa na výměnném sekacím modulu potřeba sekat v dodatkovém modulu, který bude přistaven u zařízení.

4 Návrh konstrukce zařízení - legislativa

Před návrhem konstrukce je nutné vždy brát v úvahu všechna možná nebezpečí, která se mohou na zařízení vyskytnout a provést „Posouzení rizik“ na zařízení. Posouzení rizik se provádí podle normy ČSN EN ISO 12 100 (Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika). Posouzení rizika upozorňuje konstruktéra na možná bezpečnostní rizika na zařízení již ve fázi konstrukce. Na základě tohoto dokumentu, je nutné provést účinná opatření vedoucí k zamezení nebezpečné situaci na zařízení.

Další důležitým legislativním dokumentem je Posouzení o shodě. Tento dokument protokoluje normy týkající se daného zařízení a kontroluje, zda bylo dosaženo účinných opatření.

Oba tyto dokumenty slouží jako příloha k „CE Prohlášení o shodě“. Každé zařízení provozované na území České republiky musí splňovat základní bezpečnostní předpisy, které jsou platné v České republice. Důkazem toho, že zařízení splňuje legislativu v plném rozsahu, je vydání CE Prohlášení o shodě.

CE Prohlášení o shodě je základní dokument, bez kterého jakékoli zařízení nemůže být užíváno. Proto se na celkovou bezpečnost stroje klade velký důraz.

Zmíním zde jen ty nejdůležitější normy, které mají přímý vliv na bezpečnost a zdraví obsluhy, údržby a seřizovačů.

ČSN EN ISO 13850	Bezpečnost strojních zařízení - Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci
ČSN EN ISO 13857	Bezpečnost strojních zařízení. Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami
ČSN EN 349 + A1	Bezpečnost strojních zařízení – Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla
ČSN EN 953 + A1	Bezpečnost strojních zařízení - Ochranné kryty - Všeobecné požadavky pro navrhování a konstrukci ochranných krytů (pevné, pohyblivé)
ČSN EN 983 + A1	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní požadavky pro fluidní zařízení a jejich součásti – Pneumatika
ČSN EN ISO 13855	Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla

5 Konstrukční uzly zařízení

Celé zařízení je možné rozdělit do několika základních konstrukčních uzlů. Každý z uzlů lze řešit různým konstrukčním provedením. Všechna provedení mají svoje výhody, ale i nevýhody. V této kapitole se budu zabývat danými variantami a provádět výběr nejlepšího daného řešení.

Pro lepší orientaci a přehlednost jsem sestavil pro každý konstrukční uzel tabulku porovnání konstrukčních variant. Technické ohodnocení jednotlivých variant je číslem 1 - 5, kde bodové ohodnocení „1“ je nejlepší a „5“ nejhorší. Po ohodnocení všech variant se body sečtou a provedení, jehož celkový bodový součet je nejmenší, se jeví jako nejvýhodnější varianta. S touto variantou budu dále pracovat v řešení celkového zařízení.

Základní konstrukční uzly zařízení:

1. Rám stroje a jeho krytování
2. Suport modulů
3. Sekací modul
4. Dodatečný modul

5.1 Rám stroje a jeho krytování

Rám stroje bude sloužit jako základní nosný prvek celého zařízení. S přihlédnutím k tomuto nejzákladnějšímu požadavku na rám se musím během konstrukce zaměřit hlavně na jeho pevnost a tuhost. Tuhost rámu je důležitá hlavně z důvodu stability celého technologického procesu.

Krytování musí plnit základní bezpečnostní funkce zařízení. Pokud by kryt neplnil tyto funkce, nebylo by možné na celé zařízení vydat „CE Prohlášení o shodě“ a zařízení by nemohlo být používáno ke svému účelu ve výrobním procesu.

Rám stroje a kryt lze řešit několika různými způsoby. Podle mého názoru jsou nejlepší tyto varianty:

- a. Ocelový rám s krytem z hliníkových profilů
- b. Rám i kryt jako jeden celek postavený z hliníkových profilů

RÁM STROJE A JEHO KRYTOVÁNÍ		
	<i>Varianta č. 1</i>	<i>Varianta č. 2</i>
	ocelový základový rám + hliníkový kryt	celohliníkový rám společný s krytem
náklady na konstrukci	2	2
nákupní náklady	2	3
náklady na montáž - mechanická	3	1
tuhost základového rámu	1	3
transport	2	4
SUMA	10	13

Tabulka 2. Porovnání konstrukčních variant „rám s krytem“

Náklady na konstrukční práce jsou v obou případech velmi podobné, proto i bodové ohodnocení je stejné a na výběr varianty toto kritérium nemá vliv. Vstupní nákupní náklady jsou příznivější pro variantu s ocelovým rámem, ale na mechanickou montáž jsou vyšší než při variantě s rámem z hliníkových profilů. Nákupní náklady a náklady na montáž uvádím v tomto poměru, protože rám z hliníkových profilů představuje pro většinu výrobních firem nakupovaný komponent (vyšší nákupní náklady, ale nižší montážní náklady), zatímco ocelový rám z převážné většiny není nakupovaný komponent, ale vyráběná položka. Největší a tím pádem rozhodující rozdíly ve výběru varianty jsou v tuhosti základového rámu a jeho následného transportu. Dostatečně tuhý rám není problém převážet, kdežto montovaný rám z hliníkových profilů je nutné před transportem vyztužit a zpevnit. Také jeho celková tuhost nedosahuje takových parametrů jako rám svařovaný z ocelových uzavřených profilů.

Po důkladném zvážení a vyhodnocení porovnávací tabulky vychází jako lepší varianta ocelový svařovaný rám. Bezpečnostní kryt již nemusí mít takovou tuhost jako základový rám, a proto je možné jej navrhnout jako montážní celek, poskládaný z hliníkových profilů.

Dalším otazníkem při konstrukci zařízení je zajištění bezpečnosti stroje při jeho chodu pro obsluhující personál. Velmi důležité je také zamezit „druhé“ osobě jakéhokoli zásahu do zařízení ať už v klidovém stavu nebo v provozním stavu. Pro obsluhující personál vzniká největší nebezpečí v přední straně zařízení, tedy na straně zakládání. Do tohoto nebezpečného prostoru vstupuje obsluha často a opakovaně. Možné nebezpečné situace se musí předejít hlavně v automatickém cyklu stroje.

Nabízí se zde tři varianty řešení pro zabezpečení tohoto prostoru, a to tato:

- a. Bezpečnostní světelná závora
- b. Bezpečnostní dveře – automatické
- c. Bezpečnostní dveře – manuální

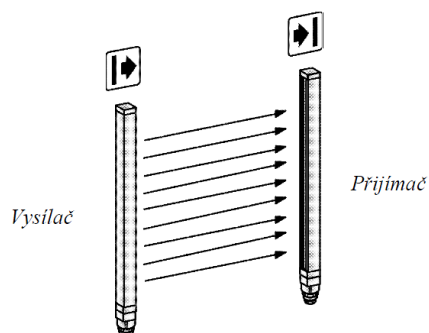
ZABEZPEČENÍ VSTUPU DO NEBEZPEČNÉHO PROSTORU BĚHEM CYKLU STROJE			
	<i>Varianta č. 1</i>	<i>Varianta č. 2</i>	<i>Varianta č. 3</i>
	bezpečnostní světelná závora	bezpečnostní dveře - automatické	bezpečnostní dveře - manuální
náklady na konstrukci	1	3	2
nákladní náklady	4	4	2
náklady na montáž - mechanická	1	4	2
náklady na montáž - elektro	2	4	2
náročnost ovládání - obsluha	1	1	5
čas započítání cyklu po zabezpečení prostoru	1	3	4
náročnost řešení bezpečnosti uvnitř krytu	3	1	1
SUMA	13	20	18

Tabulka 3. Porovnání konstrukčních variant „vstup do nebezpečného prostoru“

Náklady na konstrukční řešení i náklady na mechanickou montáž vychází nejlépe pro variantu č. 1 s bezpečnostní světelnou závorou. Kdežto pro variantu s automatickými bezpečnostními dveřmi jsou tyto náklady nejvyšší. Naopak nákupní náklady jsou nejvyšší pro variantu se světelnou závorou a to z důvodu vysokých pořizovacích cen těchto bezpečnostních prvků. I vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům světelných závor jsou výhody tohoto řešení nesporně nejvyšší. Mechanická montáž závor je velmi jednoduchá v porovnání s pohyblivými dveřmi, a hlavně rychlost zabezpečení a ovladatelnost pro obsluhující personál, výrazně převyšuje ostatní dvě varianty. I přes drobnou nevýhodu nutné potřeby dodatečného krytování sekací modulů je řešení s bezpečnostní světelnou závorou nejlepší možné a volím právě toto řešení.

5.1.1 Princip bezpečnostní světelné závory

Bezpečnostní světelný závěs se skládá z vysílací a přijímací jednotky (obr. 15). Mezi oběma se nachází ochranné pole definované výškou a šířkou ochranného pole. Montážní rozměr určuje výšku ochranného pole daného systému. [4]



Obrázek 16. Schéma světelné závory [4]

Šířka ochranného pole vyplývá z délky dráhy světla mezi vysílačem a přijímačem a nesmí překročit maximálně přípustnou šířku ochranného pole. Vysílač a přijímač se synchronizují automaticky optickým způsobem. Elektrické propojení obou komponentů není nutné. [4]

5.2 Suport modulů

Suport modulů slouží k upevnění a přesunu sekacích modulů. Jedním z důvodů proč je nutné jeden sekací modul přesouvat, je stavba výztuhového profilu. Profil s výztuhou není možné ohýbat, ani nijak přizpůsobovat pro snadnější zakládání, aby nebyl poškozen a znehodnocen. Profil je nutné zakládat do zařízení v napřímeném stavu. Proto musíme v zařízení vytvořit prostor pro zakládání profilu. Při konstrukčním návrhu již počítám s možným rozšířením vstupního materiálu pro delší profily, proto vytvořený zakládací prostor je větší než by byla potřeba pro tento profil.

I v řešení suportu modulů se dají nalézt různé varianty řešení. Zaměřím se na vyřešení posunu pravého sekacího modulu z více variant.

Přesun je možno řešit jako:

- a. Přesun pneumatickým válcem
- b. Přesun servopohonem a kuličkovým šroubem

PŘÍSUN PRAVÉHO MODULU		
	<i>Varianta č. 1</i>	<i>Varianta č. 2</i>
	pneumatické válce	servopohon + kuličkový šroub
náklady na konstrukci	3	2
nákupní náklady	2	4
náklady na montáž - mechanická	2	3
náklady na montáž - elektro	4	2
zpracování SW	4	2
seřízení poloh	4	1
možnost polohování	4	1
případné doplnění jiné polohy	4	1
nutnost referování	1	2
čas cyklu (např. 1 - 3 - 2 - 1)	4	1
nastavení rychlosti pohybu	3	2
akustické vjemy - hluk	3	1
návrat do výchozí polohy po nebezpečné situaci	3	1
SUMA	41	23

Tabulka 4. Porovnání konstrukčních variant „přísun pravého modulu“

Varianta č. 2 má dražší vstupní náklady a je třeba dbát na větší přesnost při ustavování, což jsou vlastně taky větší finanční výdaje. Ale již při posuzování dalších kritérií vychází jednoznačně jako lepší varianta servopohonu s kuličkovým šroubem. Jeho hlavní a největší výhody jsou:

- seřízení polohy – snadné seřízení pouze pomocí SW zařízení, přes ovládací panel lze komfortně přenastavit polohu s přesností 0,1 mm,
- možnost polohování – bezproblémové zastavení v jakékoli poloze bez potřeby instalace dodatečných dorazů a stoperů,
- případné doplnění další polohy – stejné výhody jako při možnosti polohování,
- čas cyklu – v sériovém provozu je čas jedním z nejdůležitějších parametrů a je na něj kladen velký důraz, proto je nutné již při konstrukci řešit tento problém,
- akustické vjemy-hluk – dá se říct, že pohon přes kuličkový šroub je téměř bezhlučný.

Přesto, že jsou počáteční náklady na servopohon vyšší, tak po zohlednění výhod, které servopohon přináší, raději volím variantu č. 2. Hlavně díky těmto výhodám bude řešení ve výsledku, dle mého odhadu, finančně výhodnější a hlavně se elegantně vyhneme případným mechanickým problémům.

5.2.1 Lineární kolejnicová vedení

Lineární kolejnicová vedení umožňují velmi přesný přímočarý pohyb pomocí valivých elementů - kuliček nebo válečků. Kuličky nebo válečky obíhají v broušených a kalených drahách vozíku a kolejnice. Výhodou je velmi vysoká únosnost a tuhost systému při velmi nízkém valivém odporu - až 1/50 kluzného odporu. Díky speciální konstrukci a optimalizaci oblouku oběžných drah jsou zachyceny síly působící jak ve vertikálním tak horizontálním směru. [5]

Lineární kolejnicová vedení se vyznačují vysokou únosností, přesností pohybu, snadnou montáží a jednoduchým systémem přimazávání. Vozíky lineárního vedení mohou mít pro prašná prostředí přídavná těsnění, případně plechové stěrače proti okujím, šponám a jiným hrubým nečistotám. [5]

Lineární vedení se vyrábí v celé řadě velikostí a typů. [5]

5.2.2 Kuličkový šroub

Převod rotačního pohybu na přímočarý umožňují kuličkové šrouby, kde mezi závity šroubu a matice obíhají kuličky. Tím se dosahuje mechanické účinnosti až 98%, oproti trapézovým šroubům, které mají účinnost nejvýše 48%. [6]

Kuličkové šrouby jsou používány v průmyslu u přesných strojů, a to zejména u soustruhů, frézek a vrtaček. Dále se používají u balicích strojů, lisů, strojů na opracování plechu, dřeva a plastů, zvedacích zařízení, ve stavbě reaktorů, v leteckém průmyslu, u signalizačních systémů, robotů a lékařských přístrojů. [6]

Další výhody oproti trapézovým šroubům jsou kromě vysoké účinnosti: vysoká reverzní účinnost - až 85%, vysoká životnost díky minimálnímu valivému odporu, žádný prokluz, přesné polohování bezvůlovými předepnutými maticemi, vysoká rychlost pohybu a malá spotřeba maziva. Kuličkové šrouby vzhledem ke své vysoké účinnosti nejsou samosvorné, což v některých případech vyžaduje použití brzdy. [6]

5.2.3 Motory SmartStep

Motory SmartStep nabízí jednoduchost a efektivitu krokového motoru s výhodami výkonnosti servopohonu.

Omron SmartStep je kombinovaný servosystém (motor a ovladač) pro bodové polohování (PTP, point-to-point) při řízení pohybů. Systém SmartStep je navržen tak, aby nabízel všechny funkce servopohonu při rychlém a přesném polohování s vysokým krouticím momentem. Skvělý výkon, minimální rozběhová síla a velmi atraktivní cena předurčují systém SmartStep jako ideální řešení pro tvůrce strojů vyžadující základní, spolehlivý servopohon pro rychlé a přesné polohování. [7]

- Kapacita od 30 W do 800 W, jmenovitá rychlost 3 000 otáček za minutu.
- K dispozici jsou válcové a ploché typy motorů.
- Špičkový krouticí momentu je až třikrát větší než hodnota trvalého krouticího momentu po dobu 3 sekund.
- Snadná instalace díky zkompletovaným kabelům.
- K dispozici jsou motory s brzdou.



Obrázek 17. Motory SmartStep [7]

5.2.4 Indukční snímače Balluff

Indukční snímače kontrolují, regulují, měří a automatizují procesy a stavy, a to zcela bez opotřebení. Snímače Balluff najdete ve strojírenství i v průmyslu výroby plastů, v textilních strojích, při zpracování dřeva i v mnoha zařízeních pro automobilový průmysl - všude tam, kde je potřeba automatizace. Společnost Balluff nabízí celou paletu řešení pro vaše aplikace. Od standardních snímačů až ke snímačům s prodlouženou spínací vzdáleností, snímače odolné vysoké teplotě a vysokému tlaku až k "Faktoru 1". [8]

Bezdotykové snímání polohy, neopotřebovatelnost, spolehlivost: přednosti indukčních snímačů mluví samy za sebe. [8]

Princip indukčního snímače je založen na vzájemném působení mezi kovovými vodiči a střídavým elektromagnetickým polem. V kovovém snímaném tlumícím materiálu jsou indukovány vířivé proudy, které odebírají energii z pole a snižují velikost oscilační amplitudy. Tato změna je indukčním snímačem vyhodnocena. [9]

Aktivní plocha je oblast, kterou vstupuje vysokofrekvenční pole snímače do vzduchové mezery. Je to v první řadě plocha hrníčkového jádra, která přibližně odpovídá ploše povrchu čepičky snímače. [9]

Standardní snímáný předmět je čtvercová destička z materiálu Fe 360 (ISO 630:1980), použitá k definování spínacích vzdáleností podle EN 60947-5-2. Její tloušťka $d = 1 \text{ mm}$. Délka strany odpovídá:

- průměru kruhu "aktivní plochy" nebo
- $3s_n$, pokud je tato hodnota větší než daný průměr.

Korekční faktor udává nutné snížení snímání vzdálenosti pro snímáný předmět, který není vyroben z Fe 360. [9]

Spínací vzdálenost „ s “ je vzdálenost mezi standardním snímaným předmětem a aktivní plochou snímače, ve které se změní stav výstupního signálu (podle EN 60947-5-2). Pro spínací výstup tj. od rozepnutí k sepnutí a pro rozpínací výstup od sepnutí k rozepnutí. [9]

Zaručená spínací vzdálenost „ s_a “ je spínací vzdálenost, pro kterou je správná funkce snímače zaručena v celém rozsahu dovolených provozních podmínek napájecího napětí a teploty. ($0 \leq s_a \leq 0,81 s_n$). [9]

5.2.5 Volba varianty pohonu koncového seku

Přísun nožů do seku na koncovém seku je možné navrhnout dvěma způsoby.

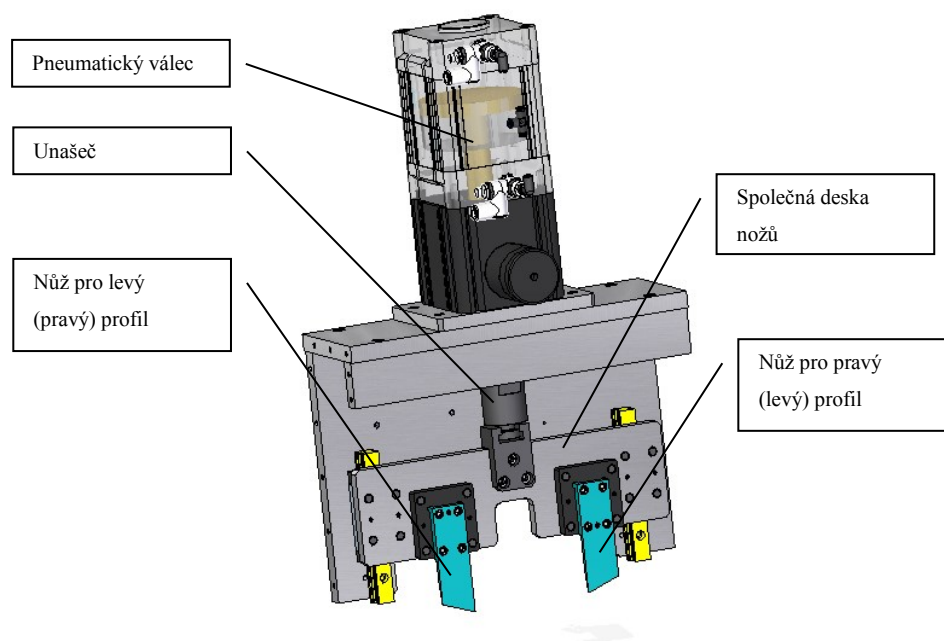
- Každý nůž (pro levý i pro pravý profil) bude mít vlastní pohon
- Oba nože budou uloženy na společné desce a přísun do seku bude proveden jedním pneumatickým válce

POHON NOŽŮ KONCOVÉHO SEKU		
	<i>Varianta č. 1</i>	<i>Varianta č. 2</i>
	1 pohon - 2 nože	2 pohony - 2 nože
náklady na konstrukci	2	3
nákladní náklady	2	4
výrobní náklady	2	3
náklady na montáž - mechanická	2	3
náklady na montáž - elektro	2	3
zpracování SW	2	3
finální seřízení	3	2
možnost vypnout jednotku	5	1
SUMA	20	22

Tabulka 5. Porovnání konstrukčních variant „pohonu nožů koncového seku“

Při obodování všech kritérií je patrné, že jako lepší řešení se jeví jako varianta č. 1. Ve všech bodech jsou výhody na straně varianty s jedním pohonem. Bohužel toto provedení má jednu dosti zásadní nevýhodu a to tu, že není možné vypnout pohyb pro levý nebo pro pravý nůž zvlášť. Vypínání jednotek se provádí, pokud chceme zpracovávat pouze levý nebo pouze pravý profil. Nicméně toto není nepřekonatelný problém, protože při správném sesazení nožů vůči matricím nemůže dojít ke kolizi a nůž tak může sekat i bez vloženého profilu.

I přes tuto výraznou nevýhodu volím řešení jednoho pohonu, který přisouvá oba nože současně do seku.



Obrázek 18. Pohon nožů koncového seku

6 Finální řešení pneumatického lisu

Stejně jako při hledání neoptimálnějšího řešení daných konstrukční uzlů zařízení, i nyní rozdělím zařízení do několika konstrukčních částí a ty podrobněji popíši a vysvětlím jejich funkci.

- a. Základový rám (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 1) s bezpečnostním krytem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 3)
- b. Suport zařízení (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 2)
- c. Sekací modul I – profil 1, strana B (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 4)
- d. Sekací modul II – profil 1, strana A (č. v. VAL0096-BP-2013-50-000)
- e. Sekací modul III – profil 2, strana C (č. v. VAL0096-BP-2013-60-000)
- f. Sekací modul IV – profil 2, strana B (č. v. VAL0096-BP-2013-70-000)
- g. Dodatkový modul (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 5)

6.1 Základový rám

Na základě porovnávání možných variant volím základový rám (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 16) svařený z ocelových uzavřených profilů 80x80x3 mm (ČSN EN 10219-2). Na stojných profilech rámu jsou našroubovány stavitelné nožky (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 8) sloužící pro případné vyrovnaní nerovností podlahy. Na rámu je celkem šest stojných profilů – čtyři v rozích a dva uprostřed rámu pro zvýšení tuhosti rámu. Kvůli dosažení požadované tuhosti jsou stojné profily ještě „svázány“ ocelovými profily tak, aby vznikla uzavřená konstrukce rámu. V zadní části rámu je umístěn elektrický rozvaděč (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 1). Boční strany a zadní strana, mimo umístění rozvaděče, jsou krytována ocelovým plechem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 18). Ze strany obsluhy je do rámu vkládána plastová bedna na odpad (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 15). Odpad je řešený jako gravitační, kdy plechovými skluzy (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 24) padá odpad přímo do bedny. Zamezení vstupu otvorem pro bednu je řešeno dveřmi (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 6) s bezpečnostním spínačem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 14) a mechanickým zámkem.

Jako zásobník vstupního materiálu slouží plechové koryto (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 17) připevněné v přední části ocelového rámu.

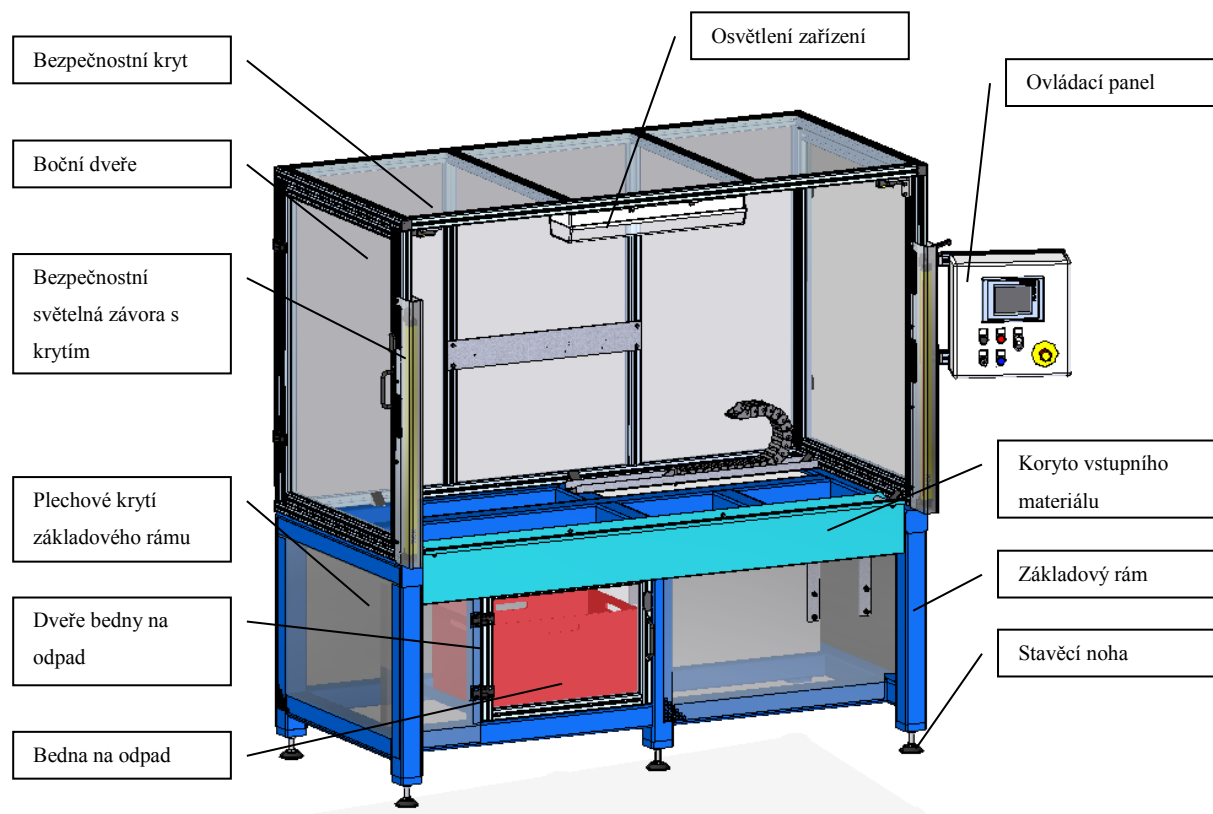
Horní bezpečnostní kryt (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 25) je smontován z hliníkových profilů. Zadní a střešní výplň je vložena do drážek profilů, aby bylo zamezeno snadné demontáže této výplně. Materiál výplně je čirý polykarbonát. Ze

strany obsluhujícího personálu jsou na krytu instalovány světelné bezpečnostní závory C4000micro s rozlišením 14 mm (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 13) od firmy Sick. Aby nedošlo k mechanickému poškození světelných závor, jsou závory umístěné do průhledného polykarbonátového krytu (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 26).

Pro případný vstup do krytu z boku zařízení jsou v krytu instalovány dveře. Rám dveří je vyroben ze stejných hliníkových profilů jako celý kryt. Zavření dveří je indikováno bezpečnostním spínačem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 14) a zajištění zavřených dveří je mechanickým zámkem.

Dostatečné osvětlení zakládacího prostoru zajistí světlo (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 5) umístěné na stropu krytu.

Na boční straně krytu je umístěn ovládací panel (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 2), pomocí kterého se ovládá celé zařízení. Na ovládacím panelu se zobrazuje provozní stav zařízení. Je zde možnost zobrazení diagnostiky, času cyklů, případně manuálně ovládat nebo krokovat zařízení. Na panelu jsou i tlačítka pro zapnutí ovládacího napětí zařízení, aktivaci automatického režimu, klíčkového přepínače AUTO/RUČNĚ, prosvětlené tlačítko chyby a tlačítko s aretací „CENTRAL STOP“.



Obrázek 19. Rám zařízení s krytem

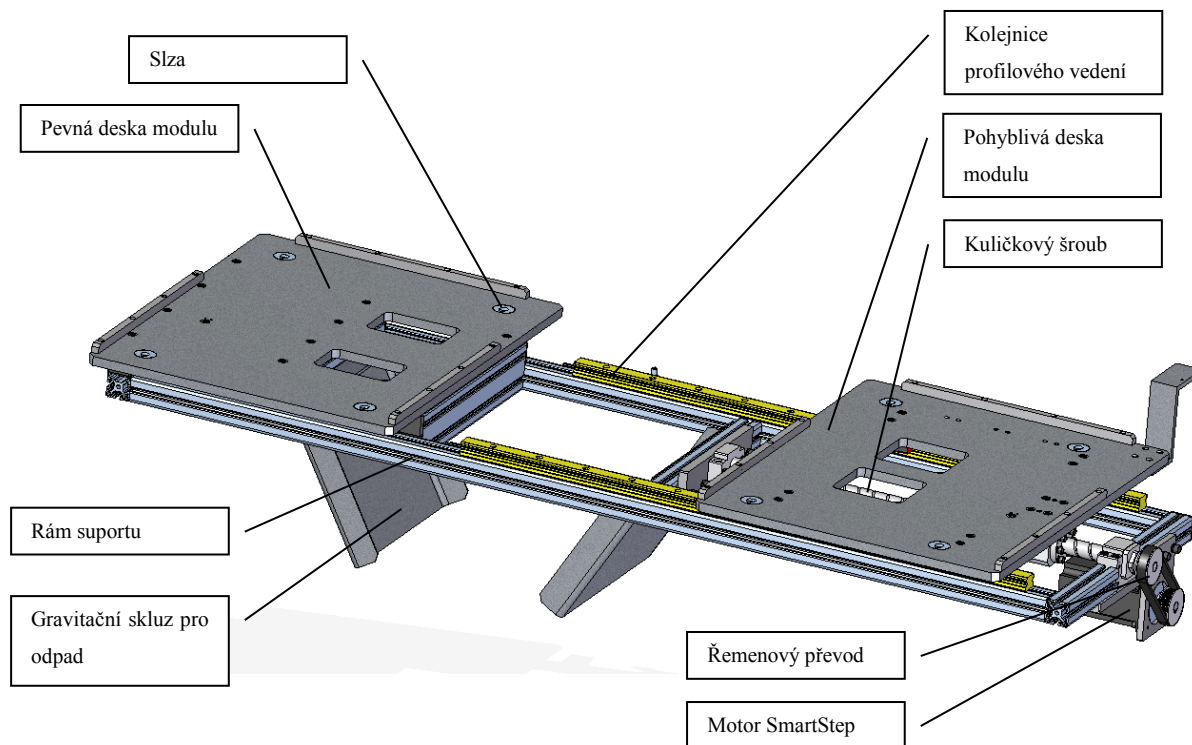
6.2 Suport zařízení

Základový rám suportu (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 21) je navržen jako montážní celek sešroubovaný z hliníkových profilů. Přímo na tento rám je šrouby připevněna levá pevná deska modulů (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 19). Pravá pohyblivá deska (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 20) bude unášena pomocí servopohonu SmartStep firmy Omron (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 12 nebo č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 38) a kuličkového šroubu (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 10 nebo č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 31). Z prostorových důvodů volím přenos krouticího momentu ze servopohonu na kuličkový šroub pomocí ozubeného převodu - řemen a řemenice (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 29, 30). Převodový poměr tohoto převodu je $i=1$. Přesnost a opakovatelnost vedení desky bude pomocí lineárního profilového vedení – kolejnice (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 9) a vozíku (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 11).

V ocelových základových deskách, které jsou součástí suportu zařízení, budou pro ustavení sekací modulů do základní polohy v deskách instalovány tzv. „slzy“ (č. v.

VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 23). Konstrukčně jsou tyto prvky řešeny tak, aby bylo snadné najet kuličkovými rolnami (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 23), umístěnými v základových deskách sekacích modulů, do přesné polohy sekacího modulu vůči deskám na suportu. Na deskách jsou instalovány nízké lemy (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 22), aby nedošlo ke spadnutí modulu při jeho zavážení na desku. Zajištění modulu na desce je pomocí šroubů a přesné ustavení je indikováno indukčním snímačem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 3). Tento indukční snímač je aktivován při zajištění modulu pružinovým pístkem s aretací (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 24).

Aby nedošlo ke kolizi pohyblivé desky a rámu v krajních polohách, jsou v těchto polohách instalovány indukční snímače firmy Balluff (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 4). V případě, že pohyblivá deska přijede až do krajní polohy a aktivuje indukční snímač, tak se odpojí napájecí napětí servopohonu a deska se okamžitě zastaví. Pro napolohování nulové polohy servopohonu slouží tzv. referenční indukční snímač (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 4). Po každém odpojení napájecího napětí ze servopohonu je nutné, aby se servopohon zreferoval na referenčním snímači.



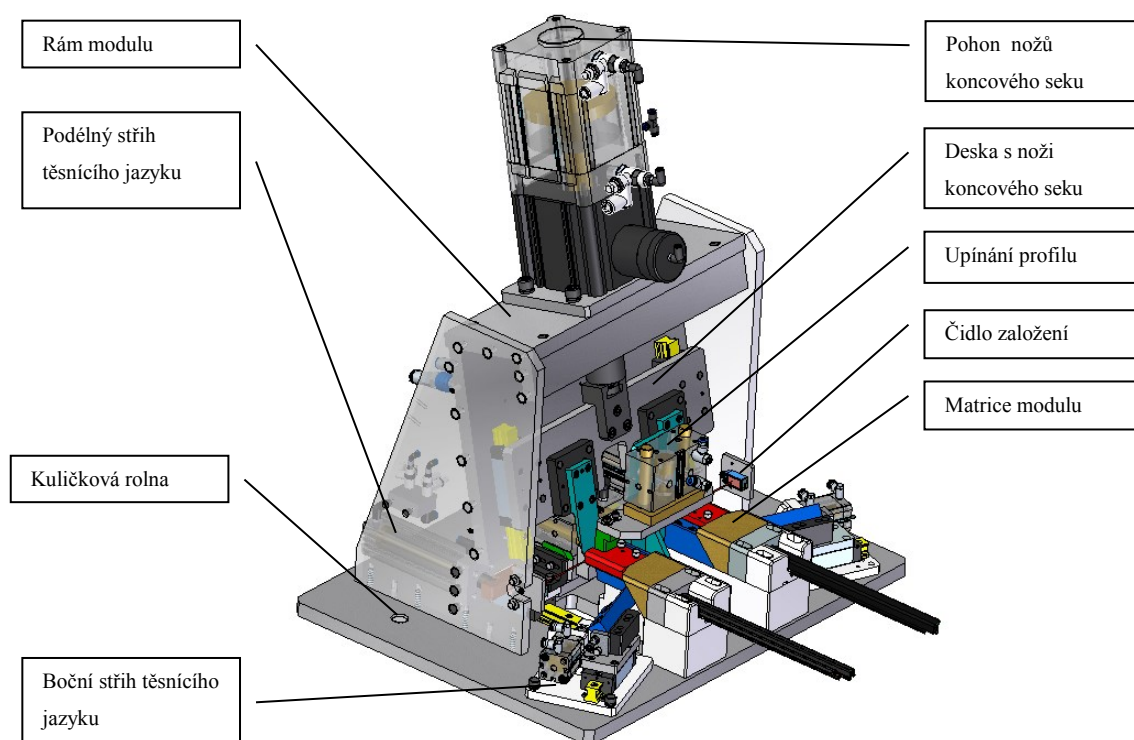
Obrázek 20. Suport

6.3 Sekací modul

Sekací moduly jsou nejdůležitější součástí celého zařízení. Z tohoto důvodu je nutné velmi precizně promyslet a provést konstrukci celého modulu a vyvarovat se zásadních konstrukčních chyb, které mohou vést k nefunkčnosti celého modulu. Případná oprava špatně navrženého modulu bývá velmi náročná a někdy je nutné velkou část modulu kompletně přestavět a najít lepší řešení. Jelikož jsou všechny čtyři moduly principiálně stejné, liší se pouze tvarem seku (úhel, délka, poloha), podrobněji se budu zabývat pouze Modulem I (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 4).

Modul je navržen tak, aby bylo možné sekát profily vždy v páru, tedy levý i pravý současně. Zakládání profilu je do pravého pevného modulu manuální na doraz (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 13). Doraz je možné posouvat k/od matrice a nastavit tak velikost odpadu. Aby byla zaručena vždy správná poloha profilu na dorazu, je v koncové poloze zakládání umístěn optický snímač (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 36), který indikuje správné založení profilu. Profily jsou zakládány za sebou.

Jelikož se jedná vždy o „zrcadlové“ seky, je nutné mít všechny nože a s tím spojené i jejich pohyby samostatné pro každý z profilů. Upínání profilu (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 15) volím společné pro oba profily.



Obrázek 21. Sekací modul

6.3.1 Matrice, nože a vkládání profilů

Profil bude nasunut do tvarové matrice (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 18) a sekán (střížen) nožem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 16), který se bude pohybovat kolem matrice se střížnou vůlí 0,01 – 0,03 mm. Minimální střížná vůle musí být dodržena z důvodu potřebné kvality seku. Pokud bude vůle menší než 0,01 mm, hrozí poškození břitu nože a jeho otupení, v případě větší vůle, bude profil vtahován mezi nůž a matici, což bude mít za následek nekvalitní sek.

Matrice kopíruje tvar profilu s offsetem 0,2 mm, tak aby byly eliminovány výrobní tolerance profilu. Naváděcí matrice (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 18) bude kuželová kvůli snadnějšímu zavádění do sekací pozice. Z důvodu složitosti výsledné matrice, v níž se provádí seky, je tato matrice sešroubována s několika výrobně jednodušších maticí. Matrice jsou uloženy na perech, aby bylo možné přisouvat matrice směrem k nožům a docílit tak požadované střížné vůle mezi nožem a maticí. Matrice jsou seřaditelné nezávisle na sobě. Při sekání koncových seků bude profil ještě dodatečně upnutý, aby byl při seku stabilní a nevtahoval se mezi matici a nůž.

6.3.2 Rám sekacích modulů

Rám sekacích modulů (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 8) je sešroubován z hliníkových desek. Sešroubované desky vytváří uzavřenou konstrukci, což je velmi důležité pro celkovou tuhost rámu.

Nože jsou uloženy v tvarových lůžcích (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 17) pro jejich lepší stabilitu a snadnou demontáž v případě ostření břitů nožů. Nože jsou takto umístěny i z důvodu opakovaného přesné uložení do stejné pozice. Poloha nože vůči lůžku je kódovaná pomocí kolíku tak, aby nebylo možné zaměnit nože levé za pravé. Záměna nemá vliv na případné kolize nože s maticí, ale má zásadní vliv na kvalitu seku. Sekací matrice a nože budou ocelové kalené. Naváděcí matrice jsou hliníkové a eloxované z důvodů zvýšení otěruvzdornosti. Z důvodů dodržení bezpečnostních požadavků stroje budou pneumatické válce (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 25, resp. poz. 26), které unášejí nože nebo žiletky, osazeny pneumatickými zámkami a v případě pohonu nožů koncových seků je pneumatický válec (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 28) doplněn mechanicko-pneumatickou brzdou. Zdvih pneumatického válce je dimenzován tak, aby bylo možné nože brousit. Vedení vozíků s noži bude pomocí lineárního profilového vedení firmy Rexroth kolejnice (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 21) a vozík (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 22).

Prívody energií do sekacích modulů se zajistí pomocí elektrického multikonektoru (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 35) a pneumatického multikonektoru (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 27).

Pro snadnější manipulaci s celými moduly jsou v základových deskách instalovány kuličkové rolny (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 23). Zajištění modulu na deskách suportů je pružinovým pístkem s aretací (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 24).

6.3.3 Sek těsnícího jazyku

Sek těsnícího jazyku je proveden dvojicí nožů na každém z profilů. Těsnící jazyk se nejprve nasekne bočním nožem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 19) a poté odřeže podélnou žiletkou (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 20). Boční nůž i žiletka jsou uloženy do lůžka. Poloha nože i žiletky je stavitelná, aby bylo možné oba nástroje ostřit, čímž se budou zkracovat. Přísun do seku je řešen stejně jako u hlavních nožů koncového seku pomocí pneumatického válce (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 25, příp. poz. 26) a profilového lineárního vedení.

6.4 Dodatkový modul - sek háku profilu a sek měkkého pohledového jazyku

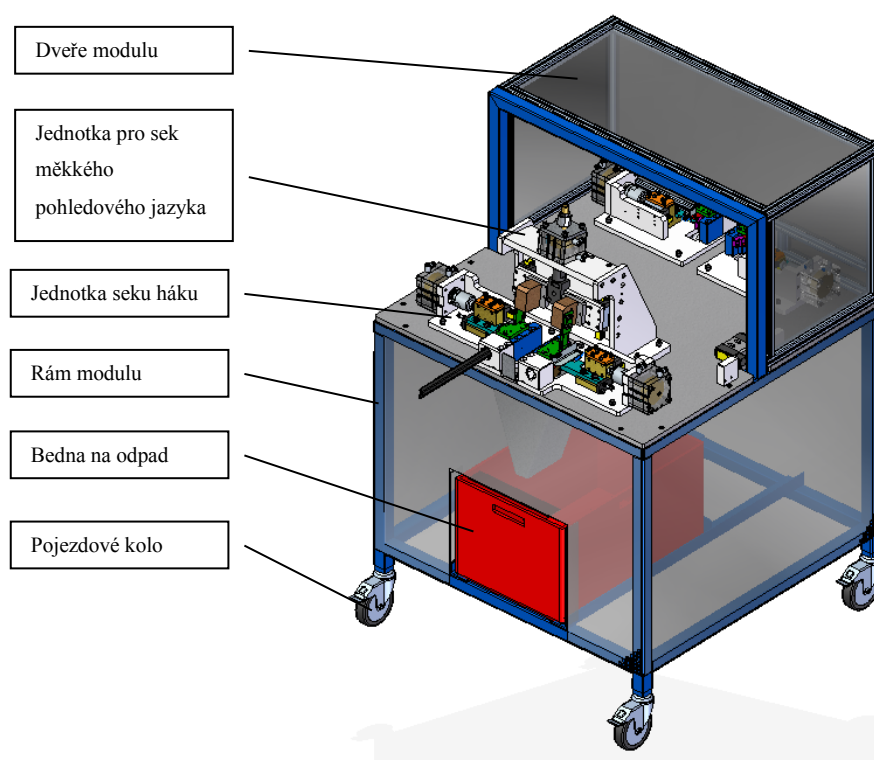
Původní předpoklad byl, že sek háku bude proveden na základních sekacích modulech. Z důvodu nedostatku místa na modulech se musí seky provádět na dodatkovém modulu (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 5).

Jelikož jsem od začátku uvažoval, že sek měkkého pohledového jazyka bude proveden na dodatkovém modulu, tak jsem toho využil a umístil zde i seky háku profilu. Finančně to není téměř žádný zásah do původní koncepce stroje, protože se jedná pouze o fyzické přemístění nožů a matic z hlavních sekacích modulů na dodatkový modul. Jednotky jsou umístěny tak, že na jedné straně jsou jednotky pro profil 1 a na druhé pro profil 2.

Dodatkový modul se skládá ze svařeného ocelového rámu (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 27), na kterém je pevně uchycena hliníková deska (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 30). K této desce jsou přišroubovány všechny funkční části modulu, jako jsou nože a matice pro sek háku profilu a jednotka pro sek měkkého pohledového jazyku. Ve spodní části rámu je umístěna bedna na odpad (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 15). Základový rám je osazen čtveřicí pojezdových kol s brzdou (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 7), aby bylo snadné celý modul otočit správnou stranou k obsluhujícímu personálu.

Konstrukce jednotky pro sek háku je koncepčně stejná jako boční sek těsnícího profilu a sek měkkého pohledového jazyka jako koncový sek profilu. Seky se spustí automaticky po založení profilu na doraz a jejich následné upnutí. Založení je indikováno optickým čidlem firmy Sick.

Kvůli dodržení základních bezpečnostních předpokladů je celý dodatkový modul shora přikryt dveřmi (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 28). Dveře jsou dvoje, vždy na každé straně modulu. Zavřené dveře jsou snímány bezpečnostním spínačem (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 2, poz. 14).



Obrázek 22. Dodatkový modul

Všechny nože jsou navrženy tak, aby bylo možné nože ostřit. Při ostření je materiál v místě bříty odebírán, a proto jsou nože dimenzovány tak, aby tento úběr mohl být až 10 mm bez vlivu na funkčnost. Při větším úběru je nutné nože vyměnit za nové.

Výchozí a pracovní polohy všech pneumatických válců jsou indikovány magnetickými snímači Sick (č. v. VAL0096-BP-2013-00-000, list 1, poz. 35). Tyto čidla zde jsou hlavně kvůli zamezení možným kolizím mezi noži a případně dorazy. Čidla jsou vždy ve výchozí poloze softwarově kontrolovány, zda nedošlo k jejich poškozením. Nefunkčnost čidla by vyvolalo zastavení cyklu stroje a vyhlášení chybového hlášení. Bez odstranění závady není možné dále pokračovat v cyklu.

7 Konstrukční výpočty

7.1 Výpočet síly na přestřižení profilu

Jedním z hlavních výpočtů sekacího modulu je výpočet síly potřebné k vyseknutí správného tvaru na konci profilu.

Kontrolní výpočet při namáhání smykem posuzuje, zda provozní napětí ve smyku dané součásti je menší nebo rovno napětí dovolenému ve smyku $\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{Ds}$

Výpočet únosnosti při namáhání smykem umožňuje stanovit maximální přípustnou sílu, kterou je možné danou součást zatížit, pak $F \leq S \cdot \tau_{Ds}$

Zvláštním případem namáhání smykem je stříhání materiálu, kdy musí dojít k přestřižení materiálu, pak střížná síla musí v materiálu způsobit napětí, které je větší, než je mez pevnosti ve smyku. [10]

Pro výpočet síly ve stříhu platí: $F_s \geq k_1 \cdot S \cdot \tau_s$

Použité symboly:

- F_s [N] – síla potřebná k oddělení materiálu
- k_1 [-] – součinitel otupení břitu (1,2 ÷ 1,55)
- S [m²] – plocha stříhu
- τ_s [MPa] – pevnost ve stříhu

7.1.1 Experimentální výpočet pevnosti ve stříhu PP a EPDM

Jelikož pevnost ve stříhu (τ_s) pro PP a EPDM je velmi těžko dohledatelné a výrobci tyto údaje nikde neuvádějí, vycházím z vlastních zkušeností s konstrukcí i výrobou sekacích modulu. Z dlouhodobých zkušeností s konstrukcí sekacích modulů je mi známo, že pro odseknutí polypropylenové části profilu o ploše cca 100 mm² je potřeba síla 1200 N. Pro sek těsnícího jazyku a měkkého pohledového jazyku (EPDM) je potřebná síla menší, a to 300 N při velikosti plochy cca 100 mm².

$$F_{PP} = 1200 \text{ N}$$

síla na useknutí PP

$$F_{EPDM} = 200 \text{ N}$$

síla na useknutí EPDM

$$S_{PP} = 100 \text{ mm}^2$$

plocha seku PP

$$S_{EPDM} = 100 \text{ mm}^2$$

plocha seku EPDM

$$\tau_{PP} = \frac{F_{PP}}{S_{PP}} = \frac{1200}{100} = 12 \text{ MPa}$$

$$\tau_{EPDM} = \frac{F_{EPDM}}{S_{EPDM}} = \frac{200}{100} = 2 \text{ MPa}$$

7.1.2 Výpočet síly pohonu pro provedení koncového seku

Pro výpočet velikosti pneumatického válce pro provedení koncového seku budu vycházet z varianty, kdy je plocha seku po useknutí konce profilu největší. Největší plocha seku je na profilu, jehož konec je sekán pod úhlem $13,1^\circ$. V rámci zachování stejných komponent na stroji, vypočtený pohon použiji i pro ostatní seky konce profilu, kde je plocha menší.



Obrázek 23. Skladba profilu

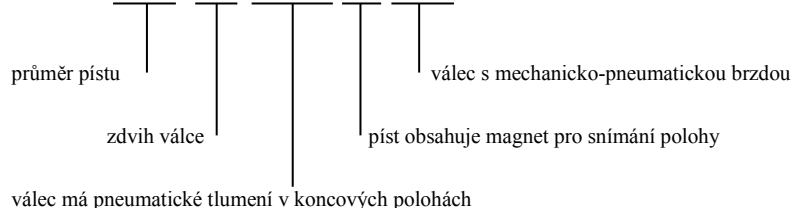
$\tau_{sAl} = 75,8 \text{ MPa}$	<i>mez stříhu hliníku</i>
$\tau_{sPP} = 12 \text{ MPa}$	<i>mez stříhu polypropylenu (PP)</i>
$\tau_{sEPDM} = 2 \text{ MPa}$	<i>mez stříhu EPDM</i>
$S_{Al} = 8,42 \text{ mm}^2$	<i>plocha stříhu hliníkové výztuže</i>
$S_{PP} = 48,28 \text{ mm}^2$	<i>plocha stříhu polypropylenové části profilu</i>
$S_{EPDM} = 74,04 \text{ mm}^2$	<i>plocha stříhu části EPDM</i>
$n = 2$	<i>počet stříhaných profilů současně jedním pohonem</i>
$k_1 = 1,4$	<i>součinitel otupení břitů</i>
$k_2 = 1,5$	<i>součinitel bezpečného seknutí</i>
F_{Vks}	<i>výsledná síla pro koncový sek</i>
k_{Vks}	<i>výsledná bezpečnost navrženého pohonu</i>
$F_{Vks} = n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (\tau_{sAl} \cdot S_{Al} + \tau_{sPP} \cdot S_{PP} + \tau_{sEPDM} \cdot S_{EPDM})$	
$F_{Vks} = 2 \cdot 1,4 \cdot 1,5 \cdot (75,8 \cdot 8,42 + 12 \cdot 48,28 + 2 \cdot 74,04) = 5735,84 \text{ N}$	

Minimální síla na useknutí obou konců profilů se započítáním všech koeficientů je 5735,84 N. Této síle vyhovuje pneumatický válec s průměrem pístu 125 mm, jehož síla při 0,6 MPa je 7363 N.

$$k_{Vks} = 7363/5735,84 = 1,28$$

Pro tuto aplikaci volím pneumatický válec DNC-125-40-PPV-A-KP. Jedná se o pneumatický válec dle normy ISO 15552.

DNC-125-40-PPV-A-KP



Při výpočtech ostatních pneumatických válců, které ovládají nože, jsem postupoval stejným způsobem jako v předchozím případě. Výpočty byly pouze jednodušší v tom, že už žádný jiný nůž neseká více materiálu současně (EPDM+PP+Al). Opět jsem síly počítal pro nejhorší variantu a pro ostatní ponechal válce stejného typu a velikosti.

Sek háku:

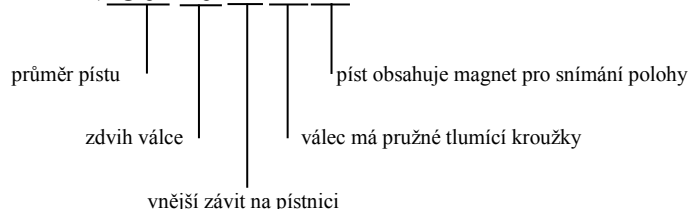
$$F_{Vh} = 2299,25 \text{ N}$$

Této síle vyhovuje pneumatický válec s průměrem pístu 80 mm, jehož síla při 0,6 MPa je 3016 N.

$$k_{Vh} = 3016/2299,25 = 1,31$$

Pro tuto aplikaci volím kompaktní válec ADN-80-10-A-P-A.

ADN-80-10-A-P-A



Sek těsnicího jazyku:

$$F_{Vbs} = 225,2 \text{ N}$$

Této síle vyhovuje pneumatický válec s průměrem pístu 25 mm, jehož síla při 0,6 MPa je 295 N.

$$k_{Vbs} = 295/225,2 = 1,31$$

Pro tuto aplikaci volím kompaktní válec ADN-25-20-A-P-A.

Ořez těsnicího jazyku:

$$F_{Vo} = 380,18 \text{ N}$$

Této síle vyhovuje pneumatický válec s průměrem pístu 25 mm, jehož síla při 0,6 MPa je 480 N.

$$k_{Vbs} = 480/380,18 = 1,26$$

Pro tuto aplikaci s dlouhým ořezem volím kompaktní válec ADN-32-120-A-P-A, pro krátký ořez ADN-32-50-A-P-A.

Sek měkkého pohledového jazyku:

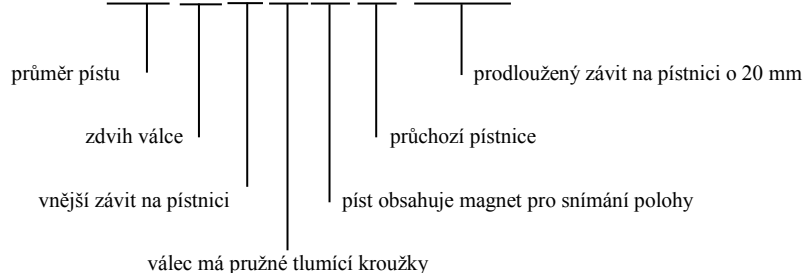
$$F_{Vmj} = 1803,48 \text{ N}$$

Této síle vyhovuje pneumatický válec s průměrem pístu 80 mm, jehož síla při 0,6 MPa je 2720 N.

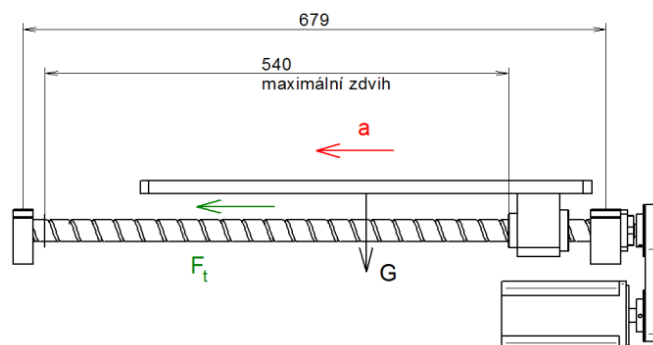
$$k_{Vbs} = 2720/1803,48 = 1,51$$

Pro tuto aplikaci volím kompaktní válec ADN-80-20-A-P-A-S2-20K2.

ADN-80-20-A-P-A-S2-20K2



7.2 Výpočet velikosti servopohonu a kuličkového šroubu



Obrázek 24. Schéma uložení kuličkového šroubu

Výpočet a kontrolu kuličkového šroubu jsem prováděl dle doporučeného postupu firmy Hiwin, který je uveden v katalogu kuličkových šroubů. [6]

Vstupní parametry:

$m_m = 115 \text{ kg}$	<i>hmotnost modulu</i>
$m_s = 44 \text{ kg}$	<i>hmotnost suportu</i>
$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$	<i>gravitační zrychlení</i>
$a_s = 2 \text{ m.s}^{-2}$	<i>zrychlení suportu</i>
$v = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$	<i>maximální rychlost suportu</i>
$k = 4$	<i>koeficient bezpečnosti</i>
$f_t = 0,1$	<i>koeficient tření</i>
$x = 540 \text{ mm}$	<i>maximální zdvih suportu</i>
$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$	<i>modul pružnosti</i>
$f_u = 2$	<i>koeficient uložení šroubu</i>
$\eta = 0,88$	<i>účinnost kuličkového šroubu</i>

Výpočet velikosti kuličkového šroubu:

$m_c = m_m + m_s = 115 + 44 = 159 \text{ kg}$	<i>celková hmotnost pohybující se hmoty</i>
$F_d = m_c \cdot a_s = 159 \cdot 2 = 318 \text{ N}$	<i>dynamická síla působící na šroub</i>
$G = m_c \cdot g = 159 \cdot 9,81 = 1559,79 \text{ N}$	<i>gravitační síla</i>
$F_t = \frac{G}{f_t} = \frac{1559,79}{0,1} = 15597,9 \text{ N}$	<i>třecí síla</i>
$F_{zat} = F_t + F_d = 15597,9 + 318 = 15915,9 \text{ N}$	<i>zatěžující síla</i>

$$d_k = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot x^2 \cdot k \cdot F_{zat}}{\pi^3 \cdot f_u \cdot E}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 540^2 \cdot 4 \cdot 15919,9}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10^5}} = 17,38 \text{ mm}$$

minimální střední průměr šroubu

dle katalogu kuličkových šroubů Hiwin [6] volím šroub:

R25-10K4-FSCDIN

Označení	ds	P	D g6	D1	D2	D3	Uspořá- dání otvorů	L	L1	L2	L3	S	B	dk	C _{dyn} [N]	C ₀ [N]	Max. axiální vůle (mm)	Hmotnost matice (kg/ks)	Hmotnost šroubu (kg/m)
R16-05T3-FSIDIN	16	5	28	48	38	5,5	1	40	10	10	5	M6	40	12,8	7320	12470	0,04	0,17	1,58
R16-10K3-FSCDIN	15	10	28	48	38	5,5	1	45	10	10	5	M6	40	12,9	9100	19300	0,04	0,25	1,42
R16-16K3-FSCDIN	15	16	28	48	38	5,5	1	61	12	20	6	M6	40	12,9	9100	19300	0,04	0,30	1,58
R20-05K4-FSCDIN	20	5	36	58	47	6,6	1	40	10	10	5	M6	44	16,9	13400	32740	0,04	0,27	2,47
R20-10K3-FSCDIN	20	10	36	58	47	6,6	1	48	10	10	5	M6	44	17,3	10000	23500	0,04	0,27	2,47
R20-20K2-FSCDIN	20	20	36	58	47	6,6	1	57	10	10	5	M6	44	17	6800	15300	0,04	0,30	2,47
R20-20K4-DFSCDIN	20	20	36	58	47	6,6	1	57	10	10	5	M6	44	17	12300	30500	0,04	0,30	2,47
R25-05K4-FSCDIN	25	5	40	62	51	6,6	1	43	10	12	5	M6	48	22,3	14900	41500	0,04	0,28	3,85
R25-10K4-FSCDIN	25	10	40	62	51	6,6	1	61	10	16	5	M6	48	21,8	15900	40400	0,04	0,45	3,85
R25-25K2-FSCDIN	25	25	40	62	51	6,6	1	70	10	16	5	M6	48	22	7500	19300	0,04	0,37	3,85

Tabulka 6. Katalogový list kuličkových šroubů Hiwin [6]

Výpočet maximálních otáček šroubu:

$$n_k = f_u \cdot \frac{d_k}{x^2} \cdot 10^8 = 2 \cdot \frac{21,8}{540^2} \cdot 10^8 = 14\,054,87 \text{ min}^{-1} \quad \textit{kritické otáčky šroubu}$$

$$n_{\max} = n_k \cdot 0,8 = 14\,057,87 \cdot 0,8 = 11\,243,9 \text{ min}^{-1} \quad \textit{maximální otáčky šroubu}$$

Kontrola vzpěrné tuhosti šroubu:

$$F_k = f_u \cdot \frac{d_k^4}{x^2} \cdot 10^5 = 2 \cdot \frac{21,8^2}{540^2} \cdot 10^5 = 154\,906,08 \text{ N} \quad \textit{max. teoretická dovolená axiální síla}$$

Výpočet životnosti v otáčkách:

$$n_m = \frac{v \cdot 1000 \cdot 60}{P} = \frac{0,4 \cdot 1000 \cdot 60}{10} = 2400 \text{ min}^{-1} \quad \textit{nominální otáčky šroubu}$$

$$L = \left(\frac{C_{\text{dyn}}}{G} \right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{15900}{1559,79} \right)^3 \cdot 10^6 = 1059236598 \text{ ot} \quad \textit{životnost šroubu v otáčkách}$$

$$L_h = \frac{L}{n_m \cdot 60} = \frac{1059236598}{2400 \cdot 60} = 7355,81 \text{ hod} \quad \textit{životnost šroubu v provozních hodinách}$$

Výpočet hnacího krouticího momentu:

$$M = \frac{G \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{1559,79 \cdot 10}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88} = 2,82 \text{ N.m}$$

hnací krouticí moment

Výpočet výkonu servopohonu:

$$P_s = \frac{M \cdot 2 \cdot n_m \cdot \pi}{60} = \frac{2,82 \cdot 2 \cdot 2400 \cdot \pi}{60} = 708,99 \text{ W}$$

vypočtený výkon servopohonu

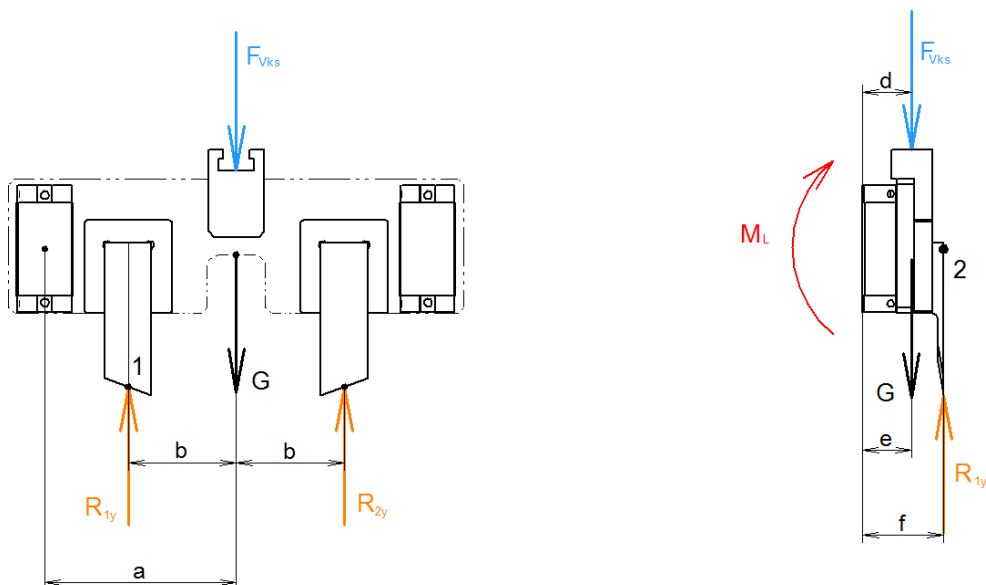
Na základě výpočtu volím kuličkový šroub R25-10K4-FSCDIN (dle katalogu Hiwin [6], strana 13). Uložení šroubů volím na straně servopohonu pevné radioaxiální ložiskem BK17 - C5 (dle katalogu Hiwin [6], strana 30) a na opačné straně volné uložení radiálním ložiskem BF17 (dle katalogu Hiwin [6], strana 32).

Dle vypočteného výkonu volím servopohon s nejvyšším bližším výkonem, a to SmartStep 750 W R7M-A75030-S1 firmy Omron.

7.3 Výpočet velikosti lineárního vedení kolejnice – vozík

Na zařízení je umístěno více typů a velikostí lineárního vedení. Pro výpočet se zaměřím na vozíky, které nesou hlavní nože koncových seků.

7.3.1 Výpočet vozíků – symetrické zatížení



Obrázek 25. Vzájemné uložení nožů a vozíků – symetrické uložení

Vstupní parametry:

$a = 164 \text{ mm}$	<i>vzdálenost osy vozíku od těžiště</i>
$b = 92,5 \text{ mm}$	<i>vzdálenost osy nože od těžiště</i>
$c = 117 \text{ mm}$	<i>vzdálenost nože od vozíku</i>
$d = 42,4 \text{ mm}$	<i>vzdálenost působící síly – vozík</i>
$e = 42 \text{ mm}$	<i>vzdálenost těžiště – vozík</i>
$f = 69,8 \text{ mm}$	<i>vzdálenost nože od vozíku</i>
$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$	<i>gravitační zrychlení</i>
$m = 6,1 \text{ kg}$	<i>hmotnost desky s noži</i>
$F_{Vks} = 7363 \text{ N}$	<i>působící síla</i>

Výpočty reakcí a momentů:

$$G = m \cdot g = 6,1 \cdot 9,81 = 59,84 \text{ N}$$

$$y: \quad R_{1y} + R_{2y} - G - F_{Vks} = 0$$

$$1: \quad G \cdot b + F_{Vks} \cdot b - R_{2y} \cdot 2b = 0$$

$$2: \quad M_L + G \cdot (f - e) + F \cdot (f - d) = 0$$

Po dosazení hodnot a upravení:

$$R_{1y} + R_{2y} = 7422,84$$

$$0,185 \cdot R_{2y} = 686,61$$

$$M_L = - 59,84 \cdot 0,0278 - 7363 \cdot 0,0274$$

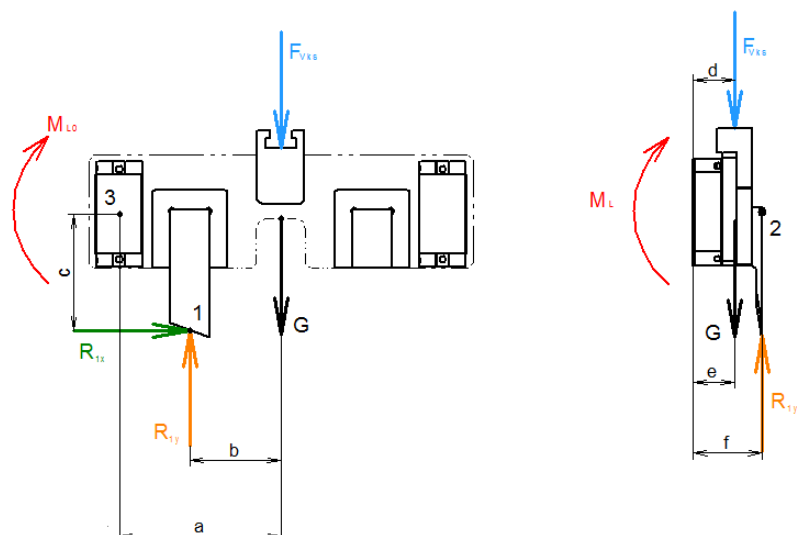
Po dosazení do matice a vypočtení tři rovnic o třech neznámých vyjde:

$$R_{1y} = 3711,4 \text{ N}$$

$$R_{2y} = 3711,4 \text{ N}$$

$$M_L = 203,41 \text{ N.m}$$

7.3.2 Výpočet vozíků – bez jednoho nože



Obrázek 26. Vzájemné uložení nožů a vozíků – jeden nůž

Vstupní parametry:

$a = 164 \text{ mm}$	vzdálenost osy vozíku od těžiště
$b = 92,5 \text{ mm}$	vzdálenost osy nože od těžiště
$c = 117 \text{ mm}$	vzdálenost nože od vozíku
$d = 42,4 \text{ mm}$	vzdálenost působící síly – vozík
$e = 42 \text{ mm}$	vzdálenost těžiště – vozík
$f = 69,8 \text{ mm}$	vzdálenost nože od vozíku
$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$	gravitační zrychlení
$m = 6,1 \text{ kg}$	hmotnost desky s noži
$F_{Vks} = 7363 \text{ N}$	působící síla

Výpočty reakcí a momentů:

$$G = m \cdot g = 6,1 \cdot 9,81 = 59,84 \text{ N}$$

$$X: \quad R_{1x} = 0$$

$$y: \quad R_{1y} - G - F_{Vks} = 0$$

$$1: \quad M_{L0} + G \cdot b + F_{Vks} \cdot b = 0$$

$$2: \quad M_L + G \cdot (f - e) + F \cdot (f - d) = 0$$

Po dosazení hodnot a upravení:

$$R_{1x} = 0$$

$$R_{1y} = 7422,84$$

$$M_{L01} = - 686,61$$

$$M_L = - 59,84.0,0278 - 7363.0,0274$$

Po dosazení do matice a vypočtení čtyř rovnic o čtyřech neznámých vyjde:

$$R_{1x} = 0 \text{ N}$$

$$R_{1y} = 7422,84 \text{ N}$$

$$M_{L0} = 686,61 \text{ N.m}$$

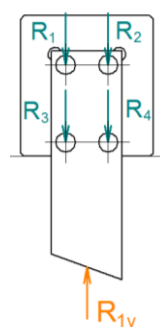
$$M_L = 203,41 \text{ N.m}$$

Na základě výpočtu volím vozík 1623-723-20 (dle katalogu Bosch - Rexroth [11], strana 13), kde:

$$M_{L0} = 715 \text{ N.m}$$

$$M_L = 495 \text{ N.m}$$

7.4 Návrh šroubu pro upevnění nože koncového seku



Obrázek 27. Silová rovnováha na noži

Vstupní parametry:

$$R_{1y} = 7422,84 \text{ N}$$

síla působící na nůž

$$n_s = 4$$

počet šroubů

$$\sigma_{Pt} = 500 \text{ MPa}$$

mez pevnosti v tahu materiálu

$$k_s = 6$$

součinitel bezpečnosti

$$f_{tz} = 0,2$$

součinitel tření v závitu

$$f_t = 0,1$$

koeficient tření

Výpočet osově síly ve šroubu:

$$F_{P1} = \frac{R_{ly}}{f_{t,4}} = \frac{7422,84}{0,14} = 18557,1 \text{ N} \quad \text{osová síla působící na šroub}$$

Určení dovoleného napětí:

$$\sigma_{DOV} = \frac{\sigma_{Pt}}{k_s} = \frac{500}{6} = 83,33 \text{ MPa} \quad \text{dovolené napětí ve šroubu}$$

Výpočet průměru šroubu:

$$\sigma_{DOV} = \frac{F_{P1}}{S_V} \Rightarrow S_V = \frac{F_{P1}}{\sigma_{DOV}} = \frac{18557,1}{83,33} = 222,69 \text{ mm}^2 \quad \text{průřez šroubu}$$

$$d_v = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot S_V}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 222,69}{\pi}} = 4,1 \text{ mm}$$

$d_2 \geq d_v$ dle tabulek [12] volím $d_2 = 5,35 \text{ mm}$, což odpovídá šroubu M6, potom

$$d_s = 6 \text{ mm} \quad \text{průměr šroubu}$$

$$p_s = 1 \text{ mm} \quad \text{stoupání šroubu}$$

Výpočet úhlu stoupání závitu a třecího úhlu:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{p_s}{\pi \cdot d_2} = \frac{1}{\pi \cdot 5,35} = 0,59497174 \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} 0,59497174 = 3,4^\circ$$

úhel stoupání závitu šroubu

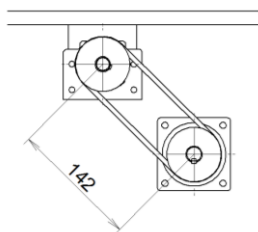
$$f_{tz} = \operatorname{tg} \varphi = 0,2 \Rightarrow \varphi = \operatorname{arctg} 0,2 = 11,31^\circ \quad \text{třecí úhel}$$

Určení utahovací síly a utahovacího momentu:

$$F_U = F_{P1} \cdot \operatorname{tg} (\alpha + \varphi) = 18557,1 \cdot \operatorname{tg} (3,4 + 11,31) = 4871,83 \text{ N}$$

$$M_U = F_U \cdot \frac{d_2}{2} = 4871,83 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-3}}{2} = 14,62 \text{ N.m} \quad \text{potřebný utahovací moment}$$

7.5 Výpočet řemenového pohonu



Obrázek 28. Schéma řemenového převodu

Výpočet řemenového pohonu jsem prováděl pomocí software Design Flex Pro, ver. 2.07/2.00/2.08/ Evropa. Software jsem stáhnul z internetových stránek. Adresa: http://www.gates.com/europe/brochure.cfm?brochure=5175&location_id=5297&go=DesignFlex_highlight.

Zadávací parametry:

Vstupní parametry pro navržení řemenového převodu jsou:

$$P = 750 \text{ W}$$

výkon servopohonu

$$n = 3000 \text{ min}^{-1}$$

nominální otáčky servopohonu

$$i = 1$$

převodový poměr

$$L_f = 142 \text{ mm}$$

nominální osová vzdálenost

Obrázek 29. Zadávací parametry řemenového převodu

Výsledky:

Design Flex Přehled řešení, Konstrukce #1, Ver. 2.07/2.00/2.08/ Evropa									
Soubor Možnosti Návod									
Task Zavřít									
Zobrazit řešení obsahující:									
<input checked="" type="checkbox"/> Neskladová položka - 17 <input type="checkbox"/> Problémové pohony - 10									
Synchronizační									
Vybráno	Produkt Rada	Řemen	Hnací (Zuby)	Hnaný (Zuby)	Rychlost hnaná	Rozdíl rychlostí	Předimanzování	Rel. Náclac	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	370-5M-25	18	18	3 000,0	0	1,1	1,6	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	375-5M-25	20	20	3 000,0	0	1,2	1,6	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	385-5M-25	21	21	3 000,0	0	1,3	1,5	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	400-5M-25	24	24	3 000,0	0	1,5	1,5	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	405-5M-25	26	26	3 000,0	0	1,7	1,5	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	420-5M-15	28	28	3 000,0	0	1,0	1,4	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	425-5M-15	30	30	3 000,0	0	1,1	1,4	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	450-5M-15	34	34	3 000,0	0	1,4	1,4	
<input checked="" type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	460-5M-15	36	36	3 000,0	0	1,5	1,4	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	475-5M-15	40	40	3 000,0	0	1,7	1,4	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	500-5M-9	44	44	3 000,0	0	1,0	1,0	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	520-5M-9	48	48	3 000,0	0	1,1	1,0	
<input type="checkbox"/>	PowerGrip HTD	560-5M-9	56	56	3 000,0	0	1,3	1,1	
Synchronizační: 19 Řešení									

Tabulka 7. Tabulka výsledků řemenového převodu



Návrh řemenového převodu - Detaily pohonu

Design Flex

Navrženo pro:		Zajišťuje:	
Aplikace: Konstrukce #1			
VSTUP			
Info. o pohonu Poměr otáček: 1,00 Výkon motoru: 750 W, Účinnost: 92,00% Provozní faktor: 1,6 Konstr. výkon: 1200 W Středová vzdálenost: 127,8 až 156,2 mm		Otáčky za minutu: 3000,0 Maximální obvodová rychlost: 33 m / s Kontrolovaná pouzdra: Minimální díra Kontrolované řemeny: PowerGrip HTD Elektrický motor	
ZVOLENÝ POHON			
Typ řemene: PowerGrip HTD - 5M Poměr otáček: 1,0 Rychlost hnaná: 3000,0 Nominální výkon: 1747 W Na hřidel: 108 N Středová vzdálenost: 140,0 mm Instalační tolerance: 119,9 mm až 140,8 mm		Díl č.: 460-5M-15 Produkt č.: 9293-51849 Horní šířka: -- Hmotnost: 27 g Obv. rychl. m/s: 9,0 m / s Otáčky za minutu: 1173,8 Pouzdro položka č.: -- Díra: -- Roztečný průměr: --	
		Hnací 36-5M-15 -- -- 8,8 m / s 3000,0 1108 9 mm - 28,6 mm 57,30 mm	Hnaný 36-5M-15 -- -- 8,8 m / s 3000,0 1108 9 mm - 28,6 mm 57,30 mm
NAPĚTÍ			
Průhyb na drážku/žebro: 2,19 mm Síla v průhybu na drážku/žebro: 0,56 až 0,59 kg		Nový řemen 2,19 mm Použitý řemen 0,46 až 0,49 kg Pokud plánujete demontáž použitých řemenů, změřte a zaznamenejte napětí před demontáží a napněte řemen na původní napětí.	
Sonic - měřič napětí Frekvence řemene: 109 až 114 Hz Nastavení Sonicu: Hmotnost: 3,9g / m, Šířka: 15mm/#R, Rozpětí: 140mm		91 až 97 Hz	
POZNÁMKY			
- Délka řemene byla zadána uživatelem. - Tento pohon nebyl zvolen Design Flexem; šířka/délka řemene byla zadána uživatelem. - Motážní přesnost vychází ze zadaného rozsahu osových vzdáleností. - Cenový režim: Výchozí - V návrzích převodu z Design Flex Pro je počítáno pouze s Gates produkty a nejsou použitelné na produkty jiných výrobců. - Výrobky nejsou určeny k použití na strojích, kde selhání výrobku může vést k ublížení na zdraví nebo k smrti. Toto zahrnuje použití na pohonech leteckých vrtulí a rotoru, nebo souvisejících pomocných pohonech.			

Obrázek 30. Protokol vybraného řemenového převodu

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat projekčně-konstrukční návrh pneumatického lisu pro vyhotovení tvarového výseku na obou koncích výztuhového TPV profilu.

V úvodu práce jsem prováděl rešerše na vybrané téma a shromažďoval jsem informace o pneumatických sekacích lisech. Jelikož se jedná o velmi specifický jednoúčelový stroj, nebylo možné najít dostatek informací o daném tématu. Při návrhu a konstrukci pneumatického lisu pro vysekávání tvarových konců pryžových profilů jsem proto hlavně vycházel z dosud nabitých zkušeností, které v tomto oboru mám. S konstrukcí, ale i výrobou, mám osmileté zkušenosti ze zaměstnání, kde v současné době pracuji.

Zařízení je navrženo podle současné technické úrovně a podle ověřených pravidel bezpečnosti práce. V navrženém stroji se nachází mnoho komponent od různých dodavatelů ze širokého spektra technického využití, např.: pneumatické komponenty firmy Festo nebo SMC, lineární profilové vedení firmy Bosch-Rexroth a Hiwin, senzorika firmy Sick a Balluff, servopohon firmy Omron a další drobné prvky firem Eles + Ganter, Haberkorn Ulmer a dalších. Při konstrukčním návrhu jsem bral i ohled na bezpečnost celého zařízení a v některých případech jsem musel tomuto přizpůsobit danou část konstrukce.

V průběhu konstrukce jsem byl nucen řešit vzniklé problémy a vyhledat nejlepší vhodnou variantu tak, aby zařízení bylo na co nejvyšší technické úrovni. Zařízení je navrženo, jako jeden stůl, ve kterém je jedna pevná a jedna pohyblivá deska. Na tyto desky se upínají sekací moduly vždy v páru tak, aby bylo možné sekát oba konce jednoho profilu. Jelikož zařízení musí umožňovat zpracování dvou různých profilů, jsou moduly celkem čtyři. Kvůli nedostatku místa na modulu není možné všechny seky provést na těchto výměnných modulech, proto pro některé seky je nutné mít dodatečný sekací modul. Na rámu zařízení je postaven kryt, který splňuje bezpečnostní funkci a nedovoluje zásah do stroje během cyklu.

Při zpracovávání návrhu základového rámu jsem měl na výběr ze dvou uvažovaných variant, ocelový svařený rám nebo montovaný rám z hliníkových profilů. Hlavně z důvodu potřebné tuhosti rámu jsem se rozhodl pro ocelový svařovaný rám. Naopak bezpečnostní kryt jsem volil jako montážní celek z hliníkových profilů. Jako nejvhodnější varianta zabezpečení nebezpečného prostoru pro obsluhu během pracovního cyklu jsem navrhl bezpečnostní světelnou závoru. Další možnosti byly bezpečnostní dveře, ale ty jsem zavrhl

z důvodů velké časové náročnosti. Jako nejlepší řešení pro přísun pravé pohyblivé desky, resp. modulu byla zvolena varianta s kuličkovým šroubem a servopohonem. Tuto variantu jsem vybral hlavně z důvodu flexibility a snadného ovládání. Důležitým bodem bylo vybrat způsob pohonu nožů při sekání koncových seků. Na výběr byla varianta s jedním pohonem pro oba nože nebo se dvěma pohony pro každý nůž zvlášť. Zde jsem se rozhodl pro variantu s jedním pohonem a to hlavně z finančního hlediska.

V závěru práce jsem provedl několik důležitých výpočtů ať už z důvodů nadimenzování správných komponent pro danou aplikaci nebo jen kontrolní výpočty. Při návrhu kuličkového šroubu jsem vycházel z podkladů firmy Hiwin, která uvádí ve svém katalogu výpočet pro vhodný návrh šroubu. Navržený šroub byl výchozím bodem pro vhodné zvolení servopohonu a následného řemenového převodu. Další z hlavních výpočtů byla kontrola navrženého profilového vedení nožů koncových seků. Navržená dvojice profilového vedení vozík – kolejnice splňovala podmínku tuhosti a přesnosti. Výpočet velikosti pneumatického pohonu uvádím pouze pro hlavní válec. Ostatní velikosti pneumatických válců jsou počítány stejným způsobem, a proto uvádím pouze dosažené síly a navržené pneumatické válce.

Bakalářskou práci jsem doplnil výkresy zařízení. Popis zařízení uvedený v práci vychází z výkresů a odkazuje se na tyto výkresy. V příloze jsou vloženy katalogové listy nejdůležitějších prvků použitých v práci.

9 Seznam použitých zdrojů

1. DUBNIN, Stanislav; DUCHÁČEK, Vratislav. *Termoplastické vulkanizáty* [online]. [cit. 13. 12. 2012]. Dostupný na WWW: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2008_03_166-172.pdf
2. AUTOR NEZNÁMÝ. *sekani-profilu-a-hadic* [online]. [cit. 20. 1. 2013]. Dostupný na WWW: www.gumex.cz/www/sluzby
3. AUTOR NEZNÁMÝ. *pryz.asp* [online]. [cit. 20. 1. 2013]. Dostupný na WWW: www.mespro.cz/CZ/produkty
4. AUTOR NEZNÁMÝ: *Bezpečnostní světelný závěs C 4000 Basic/micro*. [cit. 5. 5. 2013]
5. AUTOR NEZNÁMÝ: *Lineární vedení*. [cit. 5. 5. 2013]
6. AUTOR NEZNÁMÝ: *Kuličkové šrouby & příslušenství*. [cit. 5. 5. 2013]
7. AUTOR NEZNÁMÝ. OMRON. *SmartStep* [online]. [cit. 5. 5. 2013]. Dostupný na WWW: http://industrial.omron.cz/cs/products/catalogue/motion_and_drives/servo_systems/rotary_servo_motors/smartstep/default.html
8. AUTOR NEZNÁMÝ. BALLUFF CZ S.R.O. SENSORS WORLDWIDE. *Indukční snímače - použití* [online]. [cit. 7. 5. 2013]. Dostupný na WWW: http://www.senzory.cz/bes_pouziti.asp
9. AUTOR NEZNÁMÝ. BALLUFF CZ S.R.O. SENSORS WORLDWIDE. *Indukční snímače - principy, popisy funkcí, definice* [online]. [cit. 5. 5. 2013]. Dostupný na WWW: http://www.senzory.cz/bes_principy-funkce-definice.asp
10. AUTOR NEZNÁMÝ. *PRUŽNOST A PEVNOST* [online]. [cit. 14. 12. 2012]. Dostupný na WWW: http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/PRU%C5%BDNOST/08_PRUZNOST_A_PEVNOST_Nam%C3%A1h%C3%A1n%C3%AD%20tlakem%20a%20smykem.pdf
11. AUTOR NEZNÁMÝ: *Kuličková kolejnicová vedení firmy Rexroth*. [cit. 5. 5. 2013]
12. Vávra, P., kolektiv: *Strojnické tabulky*. Praha: SCIENTIA, spol. s r.o. Praha, 1996. 578 s

Internetové stránky:

www.fesro.com

www.haberkorn.cz

www.sick.cz

www.balluff.cz

www.smc.cz

10 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1. LIS PRO SEKÁNÍ HADIC [2]	16
OBRÁZEK 2. FOTOGRAFIE SEKACÍCH MODULŮ [3]	17
OBRÁZEK 3. PROFIL 1	18
OBRÁZEK 4. PROFIL 1, STRANA A – KONCOVÝ SEK	18
OBRÁZEK 5. PROFIL 1, STRANA A – SEK HÁKU PROFILU	18
OBRÁZEK 6. PROFIL 1, STRANA A – SEK TĚSNÍČÍHO JAZYKU	18
OBRÁZEK 7. PROFIL 1, STRANA B – KONCOVÝ SEK	19
OBRÁZEK 8. PROFIL 1, STRANA B – SEK TĚSNÍČÍHO JAZYKU	19
OBRÁZEK 9. PROFIL 2	20
OBRÁZEK 10. PROFIL 2, STRANA B – KONCOVÝ SEK	20
OBRÁZEK 11. PROFIL 2, STRANA B – SEK TĚSNÍČÍHO JAZYKU	20
OBRÁZEK 12. PROFIL 2, STRANA C – KONCOVÝ SEK	20
OBRÁZEK 13. PROFIL 2, STRANA C – SEK HÁKU PROFILU	20
OBRÁZEK 14. PROFIL 2, STRANA C – SEK TĚSNÍČÍHO JAZYKU	21
OBRÁZEK 15. PROFIL 2, STRANA C – SEK MĚKKÉHO POHLEDOVÉHO JAZYKU	21
OBRÁZEK 16. SCHÉMA SVĚTELNÉ ZÁVORY [4]	26
OBRÁZEK 17. MOTORY SMARTSTEP [7]	29
OBRÁZEK 18. POHON NOŽŮ KONCOVÉHO SEKU	32
OBRÁZEK 19. RÁM ZAŘÍZENÍ S KRYTEM	35
OBRÁZEK 20. SUPORT	36
OBRÁZEK 21. SEKACÍ MODUL	37
OBRÁZEK 22. DODATKOVÝ MODUL	40
OBRÁZEK 23. SKLADBA PROFILU	42
OBRÁZEK 24. SCHÉMA ULOŽENÍ KULIČKOVÉHO ŠROUBU	45
OBRÁZEK 25. VZÁJEMNÉ ULOŽENÍ NOŽŮ A VOZÍKŮ – SYMETRICKÉ ULOŽENÍ.....	47
OBRÁZEK 26. VZÁJEMNÉ ULOŽENÍ NOŽŮ A VOZÍKŮ – JEDEN NŮŽ	49
OBRÁZEK 27. SILOVÁ ROVNOVÁHA NA NOŽI	50
OBRÁZEK 28. SCHÉMA ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	52
OBRÁZEK 29. ZADÁVACÍ PARAMETRY ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	52
OBRÁZEK 30. PROTOKOL VYBRANÉHO ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	53

11 Seznam tabulek

TABULKA 1. MECHANICKÉ VLASTNOSTI TPV [1]	15
TABULKA 2. POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VARIANT „RÁM S KRYTEM“	24
TABULKA 3. POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VARIANT „VSTUP DO NEBEZPEČNÉHO PROSTORU“	25
TABULKA 4. POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VARIANT „PŘÍSUN PRAVÉHO MODULU“	27
TABULKA 5. POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VARIANT „POHONU NOŽŮ KONCOVÉHO SEKU“	31
TABULKA 6. KATALOGOVÝ LIST KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ HIWIN [6].....	46
TABULKA 7. TABULKA VÝSLEDKŮ ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	53

12 Seznam výkresové dokumentace

Pneumatický lis	VAL0096-BP-2013-00-000
Modul II	VAL0096-BP-2013-50-000
Modul III	VAL0096-BP-2013-60-000
Modul IV	VAL0096-BP-2013-70-000
Nůž_1_koncový sek	VAL0096-BP-2013-402-001
Matrice 1_levá_modul I	VAL0096-BP-2013-403-001
Profil 1	VAL0096-BP-2013-P1
Profil 2	VAL0096-BP-2013-P2

13 Seznam příloh

- I. Kuličková kolejnicová vedení Rexroth (2 stránky)
- II. Kuličkové šrouby – válcované (1 stránka)
- III. Kuličkové šrouby – příslušenství (2 stránky)
- IV. Cylindrical Servomotors (2 stránky)

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské doc. Dr. Ing. Ladislavu Kovářovi práce za pomoc při řešení vzniklých problémů. Dále mé poděkování patří zaměstnavateli, který mi poskytl řešit zařízení. A v neposlední řadě také rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.